«به نام خالق آرامش»

نام کتاب: جهان های موازی (بخش سوم)

نام نویسنده: میچیو کاکو

نام مترجم: سارا ایزدیار، علی هادیان

تعداد صفحات: ۱۱۰ صفحه

تاریخ انتشار: ــــــــــــــــ

کافئین بوکلی
CaffeineBookly.com

@caffeinebookly

caffeinebookly

@caffeinebookly

caffeinebookly

t.me/caffeinebookly

گذاشته، نسبت به او احساس ترحم می‌کنند. اما با گذشت زمان اتفاقات عجیبی در روستا به وقوع می‌پیوندد. یک روز زمانی که زن صاحبخانه وارد اتاق خالی او می‌شود، در کمال تعجب می‌بیند که لباس‌های او به اطراف حرکت می‌کنند. کلاه در اتاق به این طرف و آن طرف رفته، رختخواب به هوا بلند شده، صندلی‌ها حرکت کرده و آن‌طور که زن صاحبخانه، با وحشت تعریف می‌کند: «لوازم خانه دیوانه شده بودند.»

به‌زودی شایعاتی در مورد این اتفاقات غیرمعمول در دهکده شنیده می‌شود. بالاخره، گروهی از روستائیان جمع شده و با این غریبه مرموز روبرو می‌شوند. در کمال شگفتی، او آهسته شروع به باز کردن باندهای صورت خود می‌کند. افراد مبهوت می‌شوند. بدون باندها، مرد غریبه صورت ندارد. در حقیقت او نامرئی است. روستائیان نعره زده و شهر دچار آشوب می‌شود. آن‌ها سعی می‌کنند مرد نامرئی را دستگیر کنند، اما او به‌راحتی از دست آن‌ها می‌گریزد.

او پس از ارتکاب چند جرم پیش پا افتاده، تصمیم می‌گیرد نزد یکی از آشنایان قدیمی رفته و داستان جالب خود را برای او تعریف کند. نام واقعی او آقای گریفین، از کالج دانشگاه است. او حین آموزش علم پزشکی در دانشگاه، اتفاقاً به روشی بر می‌خورد که به کمک آن می‌توان ویژگی‌های انعکاسی و انکساری گوشت بدن را تغییر داد. راز نهفته او، استفاده از بعد چهارم است. او به دکتر کمپ می‌گوید: «من موفق به یافتن یک اصل کلی شده‌ام... یک فرمول یا یک عبارت هندسی مربوط به چهار بعد.»

متأسفانه، به‌جای استفاده از این کشف بزرگ برای کمک به انسان‌ها، در عوض افکار او حول سرقت اندوخته‌های شخصی چرخ می‌زند. او در این کار به دوستش پیشنهاد شراکت می‌دهد. گریفین معتقد است که هر دو به کمک هم می‌توانند جهان را به تاراج ببرند. اما دوست او وحشت کرده، و پلیس را از وجود آقای گریفین مطلع می‌سازد. به‌این‌ترتیب در آخر داستان تعقیب و گریزی بین پلیس و مرد نامرئی در می‌گیرد که در نهایت مرد نامرئی تا سرحد مرگ زخمی می‌شود.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

درست همانند دیگر رمان‌های برجسته علمی-تخیلی، در بسیاری از داستان‌های اِچ جی وِلز، ریشه علمی وجود دارد. اگر کسی بتواند به درون این بعد فضایی چهارم (یا چیزی که امروزه با احتساب زمان به‌عنوان بعد چهارم، بعد پنجم نامیده می‌شود) وارد شود، واقعاً می‌تواند نامرئی شده و حتی قدرت‌هایی را به‌دست آورد که به‌طور معمول به ارواح و خدایان نسبت داده می‌شوند. برای لحظه‌ای فرض کنید، درست همانند رمان سرزمین تخت، نوشته اِدوین آبوت در سال ۱۸۸۴، نسلی از موجودات افسانه‌ای در دنیای دو بعدی روی میز زندگی کنند. این موجودات بدون آنکه بدانند جهان کامل دیگری، یعنی بعد سوم، آن‌ها را فراگرفته است، به کار و زندگی خود مشغولند.

اما اگر دانشمندی در این سرزمین تخت بتواند آزمایشی ترتیب دهد که به کمک آن چند سانتی‌متر بالاتر از میز به پرواز در آید، به‌این‌ترتیب می‌تواند نامرئی گردد. زیرا نور در این حالت، از زیر او عبور کرده و انگار اصلاً وجود نداشته است. او درحالی‌که بالای میز شناور است، می‌تواند به‌راحتی و بی‌پرده، بدون اینکه دیده شود، شاهد رویدادهای روی میز باشد. شناور بودن در فرافضا فوائد قطعی در پی دارد، زیرا کسی که از آن منظر به پایین می‌نگرد، قدرت خداگونه خواهد داشت.

این مسئله که او در بالای میز شناور است، نه فقط باعث می‌شود که نور از زیر پای او عبور کند، بلکه امکان گذشتن از بالای اجسام روی میز را نیز برای او فراهم می‌آورد. به بیان دیگر، او می‌تواند هروقت که بخواهد نامرئی شده و از درون دیوارها و اجسام عبور کند. به‌این‌ترتیب، جهش به بعد سوم به معنی نامرئی شدن در دنیای دو بعدی روی‌میز است. و اگر دوباره بر روی سطح میز بازگردد، ناگهان به‌نظر می‌رسد که از «هیچ» ظاهر شده است. با استفاده از این روش، او می‌تواند به‌راحتی از هر زندانی فرار کند. در سرزمین تخت یک زندان عبارت است از خطی که به دور فرد زندانی می‌کشند، و تنها با رفتن به بعد سوم به‌راحتی می‌توان از روی خط پریده و فرار کرد.

به‌راحتی قابل تصور است که مخفی نگاه داشتن اسرار از یک فراموجود غیرممکن است. از منظر بعد سوم، طلایی که در غاری در دنیای دو بعدی

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

مخفی شده است به‌راحتی دیده می‌شود. زیرا در این دنیا، غار تنها یک چهارگوش باز است. برای بیرون آوردن طلا، حتی نیازی به وارد شدن به چهارگوش نخواهد بود. جالب‌تر اینکه، انجام عملیات جراحی بدون بریدن پوست امکان‌پذیر می‌شود.

اِچ جی وِلز قصد دارد، به‌طور مشابه، این ایده را به دنیای چهار بعدی تعمیم دهد. از نظر ما انسان‌های ساکن سه بعد، دنیا عبارت است از تمام آنچه که می‌توانیم ببینیم؛ غافل از اینکه ممکن است جهان‌های کامل دیگری، درست در بالای سر ما وجود داشته باشند. اگرچه آن جهان دیگر ممکن است تنها چندین سانتیمتر بالای سر ما باشد، ولی می‌دانیم که شناور شدن در بعد چهارم، منجر به ناپدید شدن می‌گردد.

از آنجایی‌که فراموجودات دارای قدرت‌های اَبَرانسانی‌اند (که اغلب به ارواح و اشباح نسبت داده می‌شوند)، در داستان علمی-تخیلی دیگری، اِچ جی ولز به این مسئله پرداخته است که شاید موجودات اَبَرطبیعی وجود دارند که در ابعاد بالاتری زندگی می‌کنند. سوآلی که او طرح کرد، امروزه موضوع تحقیقات و تفکرات عمیقی گشته است: آیا در این ابعاد بالاتر، قوانین فیزیکی جدیدی وجود دارند؟ در رمان ملاقات شگفت‌انگیز سال ۱۸۹۵ وِلز، گلوله اسلحه کشیشی تصادفاً به فرشته‌ای که از درون دنیای ما عبور می‌کرده است، اصابت می‌کند.

به خاطر برخی دلایل کیهانی، برخورد اتفاقی جهان ما و جهان موازی دیگری، باعث شده است که این فرشته به ابعاد دنیای ما وارد شود. در این داستان، ولز اینگونه می‌نویسد: «بی نهایت جهان سه بعدی می‌توانند در کنار یکدیگر قرار گرفته باشند.» کشیش، از فرشته زخمی سوآلاتی می‌پرسد. او، در کمال تعجب، در می‌یابد قوانین طبیعت ما در دنیای فرشته صادق نیستند. به‌عنوان مثال، در دنیای فرشته صفحه وجود ندارد، بلکه در عوض استوانه‌هایی وجود دارند و بنابراین فضا منحنی است. (بیست سال قبل از نظریه نسبیت عام اینشتین، وِلز با ایده جهان‌هایی که بر روی صفحات منحنی وجود دارند، دست و پنجه نرم می‌کرده است.) آن‌طور که کشیش بیان می‌کند:

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

«هندسه آن‌ها با ما متفاوت است. زیرا فضای آن‌ها منحنی است؛ به‌گونه‌ای که تمام صفحات آن‌ها به صورت استوانه هستند. بنابراین قانون گرانش در آنجا دیگر بر اساس عکس مجذور عمل نمی‌کند. به‌علاوه، در آنجا به‌جای سه رنگ اصلی، بیست و چهار رنگ اصلی وجود دارد.» بیش از یک قرن پس از نوشته شدن این داستان، امروزه فیزیکدانان می‌دانند واقعاً این امکان وجود دارد که در جهان‌های موازی دیگر، قوانین جدید فیزیکی، با مجموعه متفاوتی از ذرات زیراتمی، اتم‌ها و واکنش‌های شیمیایی، حکمفرما باشند. (همان‌طور که در فصل ۹ خواهیم دید، هم‌اکنون آزمایش‌ها متعددی ترتیب داده شده‌اند، تا بتوان به کمک آن‌ها، وجود جهان‌های موازی شناور بالای سرما را آشکار کرد.)

مفهوم فرافضا، مخصوصاً در ابتدای قرن بیستم، الهام بخش بسیاری از هنرمندان، موسیقیدانان، عرفا، خداشناسان، و فیلسوفان بوده است. تاریخ‌نویس هنری، لیندا دالریمپل هندرسون، معتقد است که شکل‌گیری سبک کوبیسم، متاثر از علاقه پابلو پیکاسو به بعد چهارم بوده است. (چشمان زنانی که او نقاشی کرده است، مستقیماً به ما می‌نگرند ولو اینکه صورت‌شان به سمت دیگری چرخیده باشد. به‌این‌ترتیب قادریم آن‌ها را به‌طورکامل ببینیم. به‌طور مشابه زمانی که یک اَبَرموجود از بالا به ما می‌نگرد، ما را کامل می‌بیند؛ از جلو، پشت و اطراف به‌طور هم‌زمان.) سالوادور دالی در نقاشی معروفش، مصلوب کردن،[1] حضرت مسیح را مصلوب در مقابل یک فرامکعب چهاربعدی از هم باز شده یا یک تِسِرکت (همتای چهار بعدی یک مکعب)، نقاشی کرده است. در نقاشی دیگری به نام تداوم حافظه، او سعی کرده است با کمک ساعت‌های‌ذوب شده، مفهوم زمان را، به‌عنوان بعد چهارم نشان دهد. در نقاشی مارسل دوشان، برهنه از پلکان پایین می‌آید (شماره ۲)، در تلاش دیگری برای گیرانداختن بعد چهارم زمان بر روی سطح دو بعدی، برهنه‌ای را می‌بینیم که در حرکت گذار زمان از پله‌ها پایین می‌آید.

1. *Christus Hypercubus*

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

نظریه M

امروزه، اسرار مربوط به بعد چهارم، به‌دلیلی کاملاً متفاوت مجدداً احیا شده‌اند؛ ظهور نظریه ریسمان‌ها و آخرین نسخه آن، یعنی نظریه. M از نظر تاریخی فیزیکدانان مصرانه با مفهوم فرافضا مقابله کرده‌اند. آن‌ها با تمسخر بیان می‌کردند که ابعاد بالاتر در حیطه فکری معتقدان به ماوراءالطبیعه قرار دارد. به‌این‌ترتیب دانشمندانی که به‌طور جدی وجود دنیاهای نادیدنی را مطرح می‌کردند، همواره مورد تمسخر واقع می‌شدند.

با ورود نظریه M، این وضعیت تغییر کرد و مسئله ابعاد بالاتر، در مرکز انقلاب عظیم فیزیک قرار گرفت. فیزیکدانان مجبورند با بزرگ‌ترین معمایی که علم فیزیک امروزه با آن دست و پنجه نرم می‌کند، مواجه شوند؛ یعنی شکاف موجود بین نسبیت عام و نظریه کوانتوم. این دو نظریه، با هم، شامل مجموع تمام دانش فیزیکی جهان، در سطح بنیادی آن هستند. در حال حاضر تنها نظریه M قادر است این دو نظریه در ظاهر متناقض و بزرگ را به یک مجموع یکپارچه تبدیل ساخته، رویای «نظریه همه چیز» را محقق کند. از بین تمام نظریه‌هایی که در قرن گذشته ارائه شده‌اند، تنها نظریه‌ای که از نظر اینشتین قابلیت «خواندن ذهن خدا» را دارد، نظریه M است.

می‌توان گفت تنها در فرافضای ده یا یازده بعدی، به اندازه کافی فضای خالی برای یکپارچه کردن تمام نیروهای طبیعت در یک نظریه زیبا و شکیل داریم. چنین نظریه شگفت‌آوری قادر خواهد بود به سوآلات همیشگی ما پاسخ دهد: قبل از آغاز جهان، چه اتفاقی افتاده است؟ آیا می‌توان زمان را معکوس کرد؟ آیا بُعدگذرها می‌توانند ما را در جهان جابجا کنند؟ (اگرچه منتقدین به درستی بیان می‌کنند که مورد آزمایش قرار دادن این نظریه، بسیار فراتر از قابلیت‌های آزمایشگاهی حال حاضر ما است، با این حال هم‌اکنون برخی آزمایش‌ها در حال طرح و برنامه‌ریزی هستند که ممکن است، همان‌طور که در بخش ۹ خواهیم دید، بتوانند این وضعیت را تغییر دهند.)

در طول پنجاه سال گذشته، تمام تلاش‌ها برای ایجاد یک توصیف کاملاً یکپارچه از جهان، به شکست منتهی شده است. از نظر مفهومی درک این

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

مسئله آسان است. نسبیت عام و نظریه کوانتوم از هر نظر شدیداً با هم در تضاد هستند. نسبیت عام نظریه‌ای است برای اجرام بزرگ: سیاهچاله‌ها، انفجارهای بزرگ، اختروش‌ها و جهان در حال انبساط.

این نظریه براساس ریاضیات صفحات هموار بنا شده است؛ مثل ملحفه تخت یا تور آکروبات. از طرف دیگر، نظریه کوانتوم کاملاً در نقطه مقابل قرار دارد. این نظریه، توصیف کننده جهان اجرام بسیار کوچک است: اتم‌ها، پروتون‌ها، نوترون‌ها و کوارک‌ها. اساس نظریه کوانتوم وجود بسته‌های مجزایی از انرژی به نام کوانتوم است. برخلاف نسبیت، نظریه کوانتوم بیان می‌کند که تنها احتمال رویدادها را می‌توان محاسبه کرد. بنابراین هیچ‌گاه نمی‌توانیم با اطمینان مکان دقیق یک الکترون را بدانیم. این دو نظریه بر مبنای ریاضیات متفاوت، فرضیات متفاوت، اصول فیزیکی متفاوت و در قلمروهای متفاوتی بنا شده‌اند. عجیب نیست که تمام تلاش‌ها برای یکپارچه کردن آن‌ها بی‌نتیجه مانده است.

غول‌های فیزیک، مثل اِروین شرودینگر، وِرنر هایزنبرگ، ولفگانگ پائولی، و آرتور اِدینگتون، کسانی که دنباله روی اینشتین بوده‌اند، همگی دستی بر نظریه میدان یکپارچه زده‌اند و البته همه شکست خورده‌اند. در سال ۱۹۲۸، اینشتین با ارائه نسخه زودهنگام نظریه خود برای همه چیز، باعث ایجاد توفانی در رسانه‌ها گردید. مجله نیویورک تایمز حتی بخش‌هایی از این مقاله را، حاوی معادلات او، منتشر کرد. بیش از صدها خبرنگار اطراف خانه او ازدحام کردند. ادینگتون از انگلستان برای اینشتین نوشت: «شاید برایتان جالب باشد بدانید یکی از فروشگاه‌های بزرگ ما در لندن مقاله شما را روی شیشه خود نصب کرده است (هر شش صفحه را در کنار هم)؛ به‌گونه‌ای که عابرین پیاده بتوانند آن را کامل بخوانند. جالب اینجاست که جمعیت زیادی برای خواندن آن جمع می‌شوند.»

در سال ۱۹۴۶، اِروین شرودینگر نیز خود را درگیر این مسئله کرد و آنچه را گمان می‌کرد همان نظریه افسانه‌ای میدان یکپارچه باشد، مطرح کرد. به‌دلیل عجله زیاد، شرودینگر در زمان خود کار تقریباً نامتعارفی را انجام داد

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

(که امروزه زیاد نامتعارف نیست): او کنفرانس خبری را ترتیب داد که حتی نخست وزیر ایرلند، ایمون دی والِرا، برای گوش دادن به صحبت‌های شرودینگر، در جلسه حضور پیدا کرد. زمانی که از او پرسیده شد تا چه حد اطمینان دارد که توانسته است سرانجام نظریه میدان یکپارچه را بیابد، پاسخ داد: «من ایمان دارم که درست می‌گویم. اگر اشتباه می‌کردم باید شبیه یک دلقک زشت می‌بودم.» سرانجام نیویورک تایمز از این کنفرانس خبری مطلع شد و نسخه چاپ شده آن را به اینشتین و دیگران، برای دریافت اظهار نظرهای‌شان، ارسال کرد. متأسفانه اینشتین دریافت که شرودینگر نظریه‌ای قدیمی را که اینشتین سال‌ها پیش مطرح کرده و رد شده بود، مجدداً کشف کرده است. اینشتین در پاسخ خود مودبانه برخورد کرد، اما عکس‌العمل شرودینگر اهانت‌آمیز بود.)

در سال ۱۹۵۸، فیزیکدانی به نام ژِرمی بِرنشتِین، در یک سخنرانی در دانشگاه کلمبیا شرکت کرد. در این گردهم‌آیی، ولفگانگ پائولی نسخه خود را از نظریه میدان یکپارچه، که آن را با کمک ورنر هایزنبرگ تهیه کرده بود، مطرح کرد. نیلز بور که در جمع مخاطبین قرار داشت، متقاعد نشد. بالاخره بور بلند شد و گفت: «ما در این طرف، متقاعد شدیم که نظریه شما احمقانه است. اما آن چیزی که ما را از هم متمایز می‌سازد این است که آیا نظریه شما به اندازه کافی احمقانه است یا نه.»

پائولی سریعاً منظور بور را فهمید. اینکه نظریه هایزنبرگ ـ پائولی بسیار سنتی‌تر و معمولی‌تر از آن بود که بتواند نظریه میدان یکپارچه باشد. «خواندن ذهن خدا» به معنی ارائه ریاضیات و ایده‌هایی است که از ریشه متفاوت باشند.

بسیاری از فیزیکدانان متقاعد شده‌اند که در پس هر چیز، نظریه‌ای ساده، زیبا و قاطع وجود دارد که با این‌حال به اندازه کافی بی‌معنی و احمقانه هست که به‌نظر صحیح نیاید. جان ویلر از پرینستون، اشاره می‌کند که در قرن نوزدهم توصیف تنوع بی‌کران حیات بر روی کره زمین به‌طور نومیدکننده‌ای غیرممکن به‌نظر می‌رسید. اما بعد چارلز داروین نظریه انتخاب طبیعی را

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

مطرح کرد؛ نظریه مستقلی که ساختاری را برای توضیح منشاء و گوناگونی تمام حیات بر روی زمین ارائه می‌کرد.

استیون واینبرگ، دارنده جایزه نوبل، از مثال متفاوتی استفاده می‌کند. پس از کریستف کلمب، نقشه‌های به‌دست آمده از سفرهای جسورانه او و همراهانش نشان می‌دادند که باید «قطب شمالی» وجود داشته باشد، ولی دلیل محکمی برای این ادعا وجود نداشت. به این دلیل که نقشه‌های موجود از کره زمین همه دارای شکاف بزرگی بودند که گمان می‌رفت باید در آن قطب شمال وجود داشته باشد، اگرچه جستجوگران اولیه هرگز چنین چیزی را ندیده بودند، اما فرض کردند که قطب شمال وجود دارد. به‌طور مشابه فیزیکدانان امروزی، مثل جستجوگران اولیه، شواهد غیرمستقیم زیادی را دال بر وجود نظریه همه چیز یافته‌اند؛ اگرچه در حال حاضر هیچ توافق عمومی بر روی اینکه این نظریه چیست، وجود ندارد.

تاریخچه نظریه ریسمان‌ها

یکی از نظریه‌هایی که به اندازه کافی احمقانه است تا نظریه میدان یکپارچه باشد، نظریه ریسمان‌ها یا نظریه M است. شاید بتوان گفت نظریه ریسمان‌ها عجیب‌ترین سرگذشت را در تاریخ علم فیزیک داشته است. نه تنها کشف این نظریه کاملاً تصادفی بوده، بلکه در مورد مسئله اشتباهی به‌کار گرفته شده و در پرده‌ای از ابهام باقی مانده است و در آخر، ناگهان به‌عنوان نظریه همه چیز مطرح شده است. در بررسی نهایی، از آنجا که انجام اصلاحات کوچک بدون تخریب نظریه امکان‌پذیر نیست، به‌نظر می‌رسد که نظریه ریسمان‌ها هم می‌تواند «نظریه همه چیز» و هم «نظریه هیچ چیز» باشد.

دلیل این تاریخچه عجیب این است که تکامل نظریه ریسمان‌ها برعکس بوده است. به‌طور معمول در نظریه‌ای مثل نسبیت، در ابتدا کار بر اساس اصول بنیادی فیزیک آغاز می‌شود. سپس این اصول به مجموعه‌ای از معادلات ابتدایی تبدیل می‌شوند. سرانجام تغییرات کوانتومی به این معادلات اعمال می‌شود. نظریه ریسمان‌ها برعکس تکامل یافته و این‌بار در

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

ابتدا نظریه کوانتومی آن به‌طور تصادفی کشف شده است. فیزیکدانان هنوز نمی‌دانند که کدامیک از اصول فیزیکی ممکن است نظریه را هدایت کرده باشد.

نقطه شروع نظریه ریسمان‌ها به سال ۱۹۶۸ باز می‌گردد، زمانی که دو فیزیکدان جوان در آزمایشگاه هسته‌ای در سِرن ژنو، به نام‌های گابریل وِنتزیانو و ماهیکو سوزوکی، به‌طور مستقل هنگام ورق زدن یک کتاب ریاضی به تابع بِتای اویلر برخورد کردند؛ یک عبارت مبهم ریاضی مربوط به قرن هجدهم که به‌وسیله لئونارد اویلر کشف شد و به‌طور عجیبی به‌نظر می‌رسید که بتواند توصیف‌گر دنیای زیراتمی باشد. آن‌ها حیرت زده شدند، زیرا به‌نظر می‌رسید این فرمول ریاضی خلاصه شده، توصیف گر برخورد دو ذره مزون پای در انرژی‌های بسیار زیاد باشد. مدل ونتزیانو به‌سرعت شور و شعفی در فیزیک ایجاد کرد و در تلاش برای تعمیم این مفهوم به توصیف نیروهای هسته‌ای، صدها مقاله منتشر شدند.

به بیان دیگر، این نظریه کاملاً تصادفی کشف شد. ادوارد ویتن از انستیتوی مطالعات پیشرفته، (کسی که بسیاری عقیده دارند موتور خلاق پشت پرده بسیاری از یافته‌های مهم در این نظریه بوده است) گفته است: «به حق فیزیکدانان قرن بیستم، نباید امتیاز مطالعه این نظریه را به خود اختصاص دهند. در حقیقت قرار نبوده است نظریه ریسمان‌ها در آن زمان اختراع شود.»

من، جنبشی را که نظریه ریسمان‌ها ایجاد کرد، کاملاً به خاطر دارم. من در آن زمان هنوز دانشجوی فوق لیسانس فیزیک در دانشگاه کالیفرنیا در برکلی بودم و به خاطر می‌آورم که چگونه فیزیکدانان با تاسف سر خود را تکان داده و بیان می‌کردند که قرار نبود فیزیک به اینجا کشیده شود. در گذشته، مطالعات فیزیکی اغلب بر اساس انجام مشاهدات با جزئیات زیاد از طبیعت، فرمول بندی کردن بخشی از فرضیات، آزمایش دقیق ایده‌های مخالف با داده‌ها و سپس تکرار خسته کننده چندباره این فرایند انجام می‌گرفت. نظریه ریسمان‌ها روشی بی‌قاعده بود که تنها بر اساس حدس زدن پاسخ بنا شده بود. تصور نمی‌شد که به‌هیچ‌وجه چنین میان‌برهای مهیجی امکانپذیر و موثر

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

باشند.

دانشمندان، به‌دلیل اینکه ذرات زیراتمی را نمی‌توان حتی با قدرتمندترین تجهیزات مشاهده کرد، برای تحلیل و بررسی آن‌ها به روشی خشن اما در عین حال موثر روی‌آورده‌اند. آن‌ها این ذرات را در انرژی‌های بسیار زیادی به‌هم می‌کوبند. تاکنون میلیاردها دلار برای ساخت اتم‌شکن‌ها یا شتاب دهنده‌های ذره، به بزرگی چندین کیلومتر هزینه شده است. این تجهیزات پرتوهایی را از ذرات زیراتمی پدید می‌آورند که با یکدیگر برخورد می‌کنند. سپس فیزیکدانان با دقت زیاد باقی مانده‌های این برخورد را مورد بررسی قرار می‌دهند. هدف از انجام این فرایند دشوار و پر زحمت، ایجاد دنباله‌ای از اعداد، به نام ماتریس تفرق، یا ماتریس S است. این مجموعه از اعداد از اهمیت بالایی برخور دارند. زیرا این دنباله، تمام اطلاعات مربوط به ذرات زیراتمی را درون خود کدگذاری کرده است. به این معنی که اگر ماتریس S را بدانیم، می‌توانیم تمام ویژگی‌های ذرات بنیادی را استخراج کنیم.

یکی از اهداف فیزیک ذرات بنیادی پیشگویی ساختار ریاضی ماتریس S، برای فعل و انفعالات قوی است. رسیدن به این هدف چنان مشکل به‌نظر می‌رسید که برخی فیزیکدانان عقیده داشتند که فراتر از هر فیزیک شناخته شده‌ای است. در این صورت می‌توان تصور کرد ونتزیانو و سوزوکی تنها با حدس زدن ماتریس، از طریق ورق زدن یک کتاب ریاضی، چه شور و شعفی به پا کردند.

مدلی که آن‌ها پیشنهاد کردند، جانوری بود از نوعی کاملاً متفاوت با هر آنچه که قبلاً دیده شده بود. اغلب زمانی که کسی نظریه جدیدی را ارائه می‌کند (مثل کوارک‌ها)، فیزیکدانان با تغییر پارامترهای کوچک (مثل جرم ذرات یا قدرت تزویج)، سعی در اصلاح و بهبود نظریه می‌کنند. اما مدل ونتزیانو چنان عالی شکل داده شده بود، که حتی کوچک‌ترین اختلال در تقارن اولیه آن، کل فرمول را ویران می‌کرد. درست همانند قطعه کریستالی که با ظرافت ساخته شده است؛ هر تلاشی برای تغییر شکل آن منجر به شکستن می‌شود.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

از صدها مقاله‌ای که در آن به‌طور عوامانه پارامترهای این مدل را بهبود بخشیدند، و در نتیجه زیبایی آن را از بین بردند، در حال حاضر هیچ‌کدام باقی نمانده است. تنها مواردی که هنوز در خاطر مانده‌اند، آن‌هایی هستند که به فهمیدن اینکه چرا این نظریه اصلاً کار کرده است پرداخته‌اند؛ یعنی آن‌هایی که سعی در آشکار کردن تقارن‌های مدل نمودند. سرانجام فیزیکدانان فهمیدند که این نظریه ابداً هیچ پارامتر تعدیل‌پذیری ندارد.

مدل ونتزیانو، در عین اینکه بسیار قابل توجه بود، هنوز مشکلات متعددی داشت. نخست اینکه فیزیکدانان دریافتند این نظریه، تقریب اولیه ماتریس نهایی S بوده و تصویر کلی نیست. بانجی ساکیتا، میگوئل ویراسورو، و کیجی کیکاوا، در دانشگاه ویسکانسین دریافتند که ماتریس S را می‌توان به صورت دنباله نامتناهی از عبارات ریاضی نشان داد و اینکه مدل ونتزیانو تنها اولین و در عین حال مهم‌ترین جمله این دنباله است. (هر یک از جملات دنباله، بیانگر تعداد روش‌هایی است که ذرات می‌توانند به یکدیگر برخورد کنند. این سه نفر قوانینی را فرض کردند که به کمک آن‌ها می‌توان جملات بالاتر را با تقریب به‌دست آورد. من برای تز دکترای خود، تصمیم گرفتم این برنامه را، با دقت زیاد، کامل کنم و تمام تصحیحات ممکن را برای مدل ونتزیانو انجام دهم. و به‌این‌ترتیب به‌همراه هم کلاسی خود، اِل پی یو، مجموعه‌ای نامتناهی از جملات اصلاحی را برای مدل محاسبه کردم.)

سرانجام، یویچیرو نامبو، از دانشگاه شیکاگو و تتسو گوتو از دانشگاه نیهون، موفق به تعیین ویژگی کلیدی این مدل، یعنی ریسمان مرتعش، گشتند. این ویژگی همان چیزی‌بود که باعث می‌شد مدل به خوبی کار کند (کارهایی نیز به‌وسیله لئونارد ساسکیند و هولگِر نیلسِن به موازات این انجام شد). زمانی که ریسمانی با ریسمان دیگری برخورد می‌کند، ماتریس Sای ایجاد می‌کند که به‌وسیله مدل ونتزیانو تعریف می‌شود. در این تصویر، ذره چیزی نیست جز یک لرزش یا نتی نواخته شده بر روی یک ریسمان. (این مفهوم بعداً با جزئیات بیشتر مطرح می‌شود.)

پیشرفت در این زمینه بسیار سریع صورت گرفت. در سال ۱۹۷۱، جان

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

شوارتز، اندرو نوو، و پیر راموند مدل ریسمان را به‌گونه‌ای تغییر دادند که پارامتر جدیدی به نام اسپین را شامل شد. به‌این‌ترتیب آن‌ها این مدل را به کاندیدایی واقع گرایانه برای برهم‌کنش ذرات تبدیل کردند. (همان‌طور که می‌دانیم به‌نظر می‌رسد تمام ذرات زیراتمی، مانند یک فرفره کوچک در حال چرخش باشند. مقدار اسپین هر ذره زیراتمی، در واحد کوانتومی، می‌تواند مقداری صحیح مثل ۰، ۱، ۲ یا یک مقدار نیم صحیح مثل ۱/۲ و ۳/۲ باشد. ریسمان نوو-شوارتز-راموند، با دقت قابل ملاحظه‌ای، الگوی اسپین‌ها را برای ما فراهم آورده است.)

با این حال، من هنوز راضی نشده بودم. مدل تشدید دوگانه، مجموعه‌ای بی‌قاعده از فرمول‌های عجیب و روش‌های تجربی بود. علم فیزیک در ۱۵۰ سال گذشته، تماماً بر اساس «میدان» بنا شده است؛ از زمانی که اولین‌بار این مفهوم به‌وسیله فیزیکدان بریتانیایی، مایکل فارادی، مطرح شد. خطوط میدان مغناطیسی را که به‌وسیله یک آهن‌ربای میله‌ای ایجاد شده است، در نظر بگیرید. همانند تار عنکبوت، خطوط نیرو در تمام فضا گسترش می‌یابند. در هر نقطه‌ی فضا، می‌توان قدرت و جهت خطوط نیروی مغناطیسی را اندازه گرفت. به‌طور مشابه می‌توان گفت یک میدان، جسمی ریاضی است که در هر نقطه‌ی فضا مقادیر متفاوتی را اختیار می‌کند. بنابراین میدان، قدرت نیروهای مغناطیسی، الکتریکی یا هسته‌ای را، در هر نقطه‌ی جهان تعیین می‌کند. به‌همین دلیل تعریف بنیادی نیروی الکتریکی، مغناطیسی، هسته‌ای و گرانش، بر پایه میدان‌ها شکل می‌گیرد. حال این سوآل پیش می‌آید که چرا باید ریسمان‌ها متفاوت باشند؟ برای پاسخ به این سوآل، به یک «نظریه میدان برای ریسمان‌ها» نیاز بود، تا امکان خلاصه کردن کل محتویات نظریه، تنها در یک معادله فراهم آید.

در سال ۱۹۷۴، تصمیم گرفتم خود را در این مسئله درگیر کنم. من و همکارم، کیجی کیکاوا از دانشگاه اوزاکا، با موفقیت توانستیم نظریه میدان ریسمان‌ها را استخراج کنیم. ما موفق شدیم در معادله‌ای به طول حدود چهار سانتیمتر، تمام اطلاعات موجود در نظریه ریسمان‌ها را جای دهیم. پس از

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

اینکه نظریه میدان ریسمان‌ها فرمول بندی‌شد، مجبور بودم مجامع فیزیکی بزرگ‌تر را نیز نسبت به قدرت و زیبایی این فرمول متقاعد کنم. در تابستان همان سال، در یک کنفرانس فیزیک نظری در مرکز اَسپِن در کلرادو، شرکت کردم و در مقابل گروهی کوچک، ولی در عین‌حال منتخب از فیزیکدانان به سخنرانی پرداختم. من کاملاً مضطرب بودم. در میان مخاطبان دو نفر از برندگان جایزه نوبل قرار داشتند؛ موری ژِلمن و ریچارد فاینمن. هر دوی آن‌ها به‌دلیل سوآلات زیرکانه‌شان معروف بودند. آن‌ها سوآلاتی می‌پرسیدند که اغلب سخنران را دستپاچه می‌کرد. (یکبار زمانی که استیون واینبرگ در جایی سخنرانی می‌کرد، بر روی تخته‌سیاه زاویه‌ای را به نام W نشان داد که به خاطر نام خودش زاویه واینبرگ نامیده می‌شد. سپس فاینمن از او پرسید که این W نشانگر چیست. وقتی واینبرگ پاسخ داد، فاینمن فریاد زد: «اشتباه است» که مخاطبین را به خنده انداخت. اگرچه فاینمن با این‌کار مخاطبین را سرگرم کرده بود، ولی برنده نهایی واینبرگ بود. این زاویه نقش مهمی در نظریه واینبرگ ایفا می‌کرد. نظریه‌ای که نیروی الکترومغناطیسی را با برهم‌کنش‌های ضعیف یکپارچه می‌کرد. سرانجام همین زاویه توانست برای او جایزه نوبل را به ارمغان آورد.)

من در سخنرانی خود بر این مسئله تاکید کردم که نظریه میدان ریسمان‌ها، ساده‌ترین و جامع‌ترین برداشت از نظریه ریسمان‌ها را ارئه می‌دهد ولی در عین‌حال تا اندازه زیادی مجموعه‌ای آمیخته از فرمول‌های بی‌ربط و از هم گسیخته است. با استفاده از این نظریه، می‌توان کل نظریه را در یک معادله به طول در حدود چهار سانتیمتر خلاصه کرد. تمام ویژگی‌های مدل ونتزیانو، تمام جملات تقریب بی‌نهایت‌ها و تمام ویژگی‌های ریسمان‌های در حال چرخش را می‌توان تنها از یک معادله، که درون یک آدامس شانسی جا می‌گیرد، نتیجه گرفت. تاکید من بر روی تقارن‌های موجود در نظریه ریسمان‌ها بود که به آن زیبایی و قدرت می‌بخشید. زمانی که ریسمان‌ها در فضا ـ زمان حرکت می‌کنند، سطوح دوبعدی شبیه به نوار را جاروب می‌کنند. استفاده از دستگاه‌های مختصات مختلف برای توصیف این فضای دو بعدی،

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

نظریه را تغییر نخواهد داد. هیچ‌گاه فراموش نمی‌کنم که بعد از آن فاینمن نزد من آمد و گفت: «ممکن است من با نظریه ریسمان‌ها کاملاً موافق نباشم، ولی سخنرانی شما یکی از زیباترین سخنرانی‌هایی بود که تاکنون شنیده بودم.»

ابعاد دهگانه

اما درست زمانی که نظریه ریسمان‌ها در حال اوج گرفتن بود، ناگهان از هم پاشیده شد. کلاود لاولِس از روتگرز، کشف کرد که مدل اصلی ونتزیانو ایراد ریاضی کوچکی دارد که تنها در صورتی که فضا-زمان بیست و شش بعد داشته باشد، این مشکل از بین می‌رود. به‌طور مشابه، مدل اَبَر-ریسمان‌های نوو-شوارتز-راموند تنها می‌تواند در فضای ده بعدی وجود داشته باشد. این مسئله فیزیکدانان را تکان داد. چنین مسئله‌ای هرگز در تمام تاریخ علم دیده نشده بود. هیچ کجا نظریه دیگری نمی‌یابیم که ابعاد خود را انتخاب کند. به‌عنوان مثال، نظریه‌های نیوتون و اینشتین را می‌توان در تمام ابعاد فرمول بندی کرد. همین‌طور قانون معروف عکس مجذور گرانش را می‌توان در چهار بعد به قانون عکس مکعب تبدیل کرد. اما، نظریه ریسمان‌ها تنها در ابعاد مشخصی می‌تواند وجود داشته باشد.

از نقطه نظر عملی، این یک فاجعه محسوب می‌شد. طبق باور عمومی، دنیای ما در سه بعد فضا (طول، عرض و ارتفاع) و یک بعد زمان وجود دارد. پذیرش یک جهان ده بعدی، نظریه را به داستانی علمی-تخیلی شبیه می‌کند. به‌این‌ترتیب، نظریه‌پردازان ریسمان‌ها مورد تمسخر واقع شدند. (جان شوارتز به خاطر می‌آورد زمانی را که به‌همراه فاینمن در آسانسور بوده، فاینمن به حالت تمسخرآمیز به او گفته: «خوب جان، بگو ببینم امروز در چند بعد زندگی می‌کنی؟») علی‌رغم تمام تلاش‌هایی که فیزیکدانان حامی نظریه ریسمان‌ها برای نجات این مدل انجام دادند، این نظریه محکوم به فنا گردید. تنها گروهی با پشتکار، به تنهایی به تلاش‌های خود ادامه دادند.

دو تن از افراد با پشتکاری که در طول این سال‌های غمبار، به‌کار بر روی نظریه ادامه دادند، جان شوارتز از دانشگاه کلتک و جوئل شِرِک از مدرسه

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

عالی اِکول نرمال در پاریس بودند. تا آن زمان تصور می‌شد که نظریه ریسمان‌ها تنها فعل و انفعالات هسته‌ای قوی را توصیف می‌کند. اما یک مشکل وجود داشت: مدل ارائه شده، ذره‌ای را پیش‌بینی می‌کرد که در فعل و انفعالات قوی وجود نداشت. ذره عجیبی با جرم صفر که دارای اسپین ـ۲ بود. تمام تلاش‌ها برای خلاص شدن از این ذره مزاحم بی‌نتیجه ماند. هربار که برای حذف این ذره اسپین ـ۲ تلاشی صورت می‌گرفت، مدل از هم پاشیده شده و ویژگی‌های جادویی خود را از دست می‌داد. به‌نظر می‌رسید این ذره ناخواسته با اسپین ـ۲، به نوعی راز کل مدل را در بر داشته باشد.

شِرک و شوارتز حدس جسورانه‌ای زدند. شاید این مشکل، در حقیقت یک موهبت بوده است. اگر آن‌ها این ذره مزاحم اسپین ـ۲ را این‌بار به صورت یک گراویتون تفسیر می‌کردند (ذره‌ای از جنس گرانش که از نظریه اینشتین بر می‌آید)، آنگاه در حقیقت می‌توانستند نظریه گرانش اینشتین را نیز در این مدل جای دهند! (به بیان دیگر، نظریه نسبیت عام اینشتین به شکل پایین‌ترین ارتعاش یا نت موسیقی از ابرریسمان‌ها پدید می‌آید.) درحالی‌که در دیگر نظریه‌های کوانتومی فیزیکدانان اصرار دارند تا از هر گونه اشاره‌ای به گرانش بپرهیزند، نظریه ریسمان‌ها به گرانش نیاز دارد. (این در حقیقت یکی از ویژگی‌های جذاب نظریه ریسمان‌هاست ــ اینکه باید گرانش را نیز شامل شود وگرنه نظریه درست از آب در نمی‌آید.) با توجه به این یافته، دانشمندان دریافتند که مدل ریسمان‌ها، به اشتباه، به مسئله نادرستی سوق داده شده است. این نظریه تنها نظریه‌ای برای فعل و انفعالات هسته‌ای قوی نبوده، و در عوض نظریه‌ای است برای همه چیز. همان‌طور که ویتن گفته است، یکی از ویژگی‌های جذاب نظریه ریسمان‌ها این است که نیاز به‌وجود گرانش دارد. درحالی‌که دیگر نظریه‌های میدان استاندارد، برای چندین دهه، از به کارگرفتن گرانش مایوس شده‌اند، با این حال، وجود گرانش در نظریه ریسمان‌ها الزامی است.

ولی ایده اصلی شرک و شوارتز از طرف جهانیان مورد قبول واقع نشد. برای اینکه نظریه ریسمان‌ها بتواند هم گرانش و هم دنیای زیراتمی را

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

توصیف کند، ریسمان‌ها باید طولی تنها برابر 10^{-33} سانتی‌متر (طول پلانک) داشته باشند؛ یعنی میلیاردها میلیاردها برابر کوچک‌تر از یک پروتون. پذیرش این مسئله از طرف فیزیکدانان بسیار سخت بود.

در اواسط دهه ۱۹۸۰، تلاش‌های دیگری در جهت یافتن نظریه میدان یکپارچه صورت گرفت. نظریه‌هایی که تلاش داشتند، به روش‌هایی بسیار ابتدایی، گرانش را به مدل استاندارد پیوند دهند، کم کم از میدان خارج می‌شدند. هر تلاشی که به‌طور ساختگی سعی داشت گرانش را با دیگر نیروهای کوانتومی یکپارچه سازد، منجر به ایجاد تناقضات ریاضی شده و نظریه از هم می‌پاشید. (اینشتین عقیده داشت، شاید خدا در ساختن جهان حق انتخابی نداشته است. دلیل این امر می‌تواند این مسئله باشد که تنها یک نظریه از تمام این تناقضات ریاضی آزاد است.)

این تناقضات ریاضی دو نوع هستند. اولین مشکل، وجود بی‌نهایت‌ها است. اغلب، افت و خیزهای کوانتومی، مقادیر کوچکی دارند. در اکثر موارد، اثرات کوانتومی، تنها جبران‌سازی کوچکی برای قوانین حرکت نیوتون محسوب می‌شوند. به‌همین دلیل است که در اغلب موارد می‌توانیم، در دنیای بزرگ مقیاس خود، از آن‌ها چشم پوشی کنیم. با این حال، زمانی که گرانش به یک نظریه کوانتومی تبدیل می‌شود، این تحولات کوانتومی نیز بی‌نهایت می‌شوند، که بی‌معنی است. دومین تناقض ریاضی مربوط می‌شود به‌وجود «ناهنجاری‌ها»؛ ناهنجاری‌های کوچکی در نظریه که در زمان افزودن تحولات کوانتومی به آن به‌وجود می‌آیند. این ناهنجاری‌ها، تقارن اصلی نظریه را از بین برده و در نتیجه قدرت اصلی آن را می‌گیرند.

به‌عنوان مثال مهندسی را در نظر بگیرید که قصد دارد موشک صیقلی و آیرودینامیکی بسازد تا به‌راحتی درون اتمسفر حرکت کند. این موشک باید دارای تقارن بالایی بوده تا بتواند اصطکاک با هوا را به حداقل برساند (در این حالت موشک دارای تقارن استوانه‌ای است؛ یعنی با چرخاندن آن حول محور خود، شکل آن تغییر نمی‌کند). این تقارن $O(2)$ نامیده می‌شود. اما اینجا، دو مشکل بالقوه وجود دارند. نخست، به‌دلیل سرعت بسیار زیاد

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

موشک، امکان رخ دادن ارتعاش در بال‌ها وجود دارد. اغلب این ارتعاشات در هواپیماهایی که زیر سرعت صوت حرکت می‌کنند، ناچیز هستند. با این‌حال در سرعت‌های فراصوتی، شدت این لرزش‌ها می‌تواند چنان زیاد شود که در نهایت منجر به کنده شدن بال گردد. واگرایی‌های مشابه از این دست، می‌تواند هر نظریه کوانتومی گرانش را با اشکال مواجه کند. در حالت نرمال، این مقادیر آنقدر کوچک هستند که می‌توان از آن‌ها چشم پوشی کرد، اما در یک نظریه کوانتومی گرانش، این مقادیر تاثیرگذار خواهند بود.

دومین مشکل در مورد موشک این است که ممکن است ترک‌های کوچکی در بدنه پدید آیند. این ترک‌ها تقارن اصلی O(2) موشک را از بین می‌برند و هرچقدر هم که کوچک باشند، در نهایت می‌توانند گسترش یافته و موشک را متلاشی کنند. به‌طور مشابه، چنین شکاف‌هایی قادرند تقارن یک نظریه گرانش را از بین ببرند.

دو راه برای حل مشکلات مذکور وجود دارد. نخست استفاده از روش‌های بندزنی است؛ مثل بند زدن ترک‌ها با چسب و محکم کردن بال‌ها با تخته، به امید اینکه موشک در اتمسفر منفجر نشود. این روش، راه حلی تاریخی است که اغلب فیزیکدانان، در تلاش برای همگرایی نظریه کوانتوم با گرانش، از آن استفاده کرده‌اند. دومین روش برای‌جلوگیری از متلاشی شدن موشک، این است که همه چیز را از اول شروع کنیم؛ موشکی با یک شکل جدید و مواد ناشناخته جدید که بتواند فشار سفر فضایی را تحمل کند.

فیزیکدانان، چندین دهه سعی کردند، با استفاده از همان روش بندزنی، یک نظریه کوانتوم گرانش را سرهم کنند. تنها دستاورد آن‌ها نظریه‌هایی سردرگم با واگرایی‌ها و ناهنجاری‌های جدید بوده است. آن‌ها به تدریج دریافتند که شاید بهتر باشد این روش را رها کرده و از ابتدا بنیان جدیدی را اتخاذ کنند.

ارکستر ریسمانی

در سال ۱۹۸۴، اوضاع به نفع نظریه ریسمان‌ها تغییر کرد. جان شوارتز از

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

دانشگاه کلتک و مایک گرین که در آن زمان در کالج مری کوئین در لندن به سر می‌برد، نشان دادند که نظریه ریسمان‌ها خالی از تمام تناقضاتی است که نظریه‌های دیگر را درگیر کرده بود. البته، فیزیکدانان می‌دانستند که نظریه ریسمان‌ها، خالی از واگرایی‌های ریاضی است. همین طور شوارتز و گرین نشان دادند که علاوه بر آن، در این نظریه ناهنجاری نیز وجود ندارد. در نتیجه، نظریه ریسمان‌ها تبدیل به تنها کاندید پیشتاز برای نظریه همه چیز گردید.

ناگهان نظریه‌ای که در اصل مرده پنداشته می‌شد، مجدداً احیا شد. نظریه ریسمان‌ها، ناگهان از نظریه هیچ به نظریه همه چیز تبدیل شد. فیزیکدانان بسیاری، به خواندن مقالات مربوط به نظریه ریسمان‌ها روی آوردند. سیل عظیمی از مقالات، از آزمایشگاه‌های تحقیقاتی، در سراسر جهان فوران کردند. مقالات قدیمی که در کتابخانه‌ها خاک می‌خوردند، ناگهان وارد داغ‌ترین مباحث در فیزیک شدند. ایده جهان‌های موازی که زمانی بسیار دور از واقعیت تصور می‌شد، با صدها کنفرانس و ده‌ها هزار مقاله، به سوژه اصلی جامعه فیزیک بدل شد.

(البته در مواقعی، این ایده از میدان خارج شد؛ زمانی که فیزیکدانان دچار «تب نوبل» شدند. در آگوست ۱۹۹۱، مجله دیسکاور بر روی جلد خود این عنوان را نوشت: «نظریه جدید همه چیز: یک فیزیکدان با معمای نهایی کیهانی دست و پنجه نرم می‌کند.» در مقاله‌ای، از یک فیزیکدان در تعقیب شهرت و اعتبار، نقل قول شده بود: «من کسی نیستم که فروتن باشم. اگر این درست کار کند، برنده جایزه نوبل خواهد شد.» زمانی که وی با این انتقاد مواجه شد که نظریه ریسمان‌ها هنوز در نوباوگی خود قرار دارد، پاسخ داد: «بزرگ‌ترین حامیان نظریه ریسمان‌ها عقیده دارند که چهارصد سال برای اثبات این نظریه زمان لازم است، ولی من می‌گویم که آن‌ها باید دهان‌شان را ببندند.»)

عاقبت واکنش شدیدی در مقابل «ارکستر ابرریسمان‌ها» به‌وجود آمد. یکی از فیزیکدانان هاروارد با تمسخر بیان کرده است که نظریه ریسمان‌ها

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

به هیچ‌وجه شاخه‌ای از فیزیک محسوب نمی‌شود، بلکه در حقیقت شاخه‌ای از ریاضیات محض یا فلسفه (اگر نگوییم مذهب) محسوب می‌شود. شلدون گلاشو، دارنده جایزه نوبل، از هاروارد فرماندهی این جریان را بعهده گرفت. او، ارکستر ابرریسمانی را با برنامه جنگ‌های فضایی (که منابع عظیمی را مصرف می‌کنند درحالیکه هیچ‌گاه نمی‌توان آن‌ها را مورد آزمایش قرار داد) مقایسه کرده است. گلاشو گفته است، واقعاً خوشحال است که فیزیکدانان جوان بسیاری بر روی نظریه ریسمان‌ها کار می‌کنند، زیرا به‌این‌ترتیب از شر آن‌ها خلاص می‌شود. زمانی که از او پرسیده شد، آیا با نظر ویتن، مبنی بر اینکه احتمال دارد نظریه ریسمان‌ها، در پنجاه سال آینده، علم فیزیک را به تصرف خود در آورد، همانگونه که مکانیک کوانتومی در پنجاه سال گذشته این‌کار را انجام داده، موافق است یا نه، او پاسخ داد نظریه ریسمان‌ها علم فیزیک را همانگونه که نظریه کالوزا-کلین (که او آن را کوکی می‌نامد)، در طول پنجاه سال گذشته، فیزیک را قبضه کرده (که نکرده است) به تصرف خود در خواهد آورد. او تلاش می‌کرد تا از ورود نظریه‌پردازان ریسمانی به هاروارد جلوگیری کند. اما با تغییر جهت نسل بعدی فیزیکدانان به سمت نظریه ریسمان‌ها، صدای تنهای این دارنده جایزه نوبل نیز به خاموشی گرایید. (هاروارد از آن زمان تاکنون نظریه‌پردازان جوان زیادی را در زمینه ریسمان‌ها به خدمت گرفته است.)

موسیقی کیهانی

اینشتین یک بار گفته بود، اگر نظریه‌ای نتواند تصویری فیزیکی ارائه دهد که حتی یک کودک نیز آن را بفهمد، احتمالاً بلااستفاده است. خوشبختانه در پس نظریه ریسمان‌ها تصویر فیزیکی ساده‌ای قرار دارد؛ تصویری بر اساس مفهوم موسیقی.

براساس نظریه ریسمان‌ها، اگر یک اَبَرمیکروسکوپ داشته باشیم و بتوانیم به دقت به قلب یک الکترون بنگریم، نه یک ذره نقطه‌ای، بلکه ریسمانی مرتعش را مشاهده خواهیم کرد. (این ریسمان بسیار کوچک است،

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

به اندازه طول پلانک برابر با $۱۰^{-۳۳}$ سانتی‌متر، میلیاردها میلیارد بار کوچک‌تر از یک پروتون، بنابراین تمام ذرات زیراتمی به صورت نقطه‌ای دیده می‌شوند.) اگر بخواهیم این ریسمان را به ارتعاش در آوریم، صدای آن تغییر خواهد کرد؛ مثلاً الکترون ممکن است به یک نوترینو تبدیل شود. و اگر دوباره آن را به ارتعاش در آوریم، ممکن است به یک کوارک تبدیل شود. در حقیقت اگر ریسمان را با شدت‌های مختلف به لرزه در آوریم، می‌توانیم آن را به هرکدام از ذرات زیراتمی شناخته شده تبدیل کنیم. به‌این‌ترتیب نظریه ریسمان‌ها می‌تواند به‌راحتی این موضوع را توضیح دهد که چرا تعداد ذرات زیراتمی تا به این حد زیاد است. آن‌ها چیزی نیستند جز نت‌های متفاوتی که می‌توان بر روی یک آبَرریسمان نواخت. به‌عنوان یک مثال، در یک ویولن، ریسمان‌های نوت لا ـ دِیز، سی ـ دِیز و دو ـ دِیز نت‌های اصلی نیستند. تنها با به لرزه در آوردن ریسمان در روش‌های مختلف می‌توان تمام نت‌های موسیقی را ایجاد کرد. به‌عنوان مثال سی ـ بِمُل اصلی‌تر از نت سُل نیست. همه آن‌ها نت‌های موسیقی ویولون هستند. به‌همین ترتیب، الکترون‌ها و کوارک‌ها اصلی نیستند، اما ریسمان اصلی است. در حقیقت تمام زیرذرات موجود در جهان را می‌توان به صورت ارتعاشات متفاوت یک ریسمان نشان داد که «هارمونی»های ریسمان همان قوانین فیزیک هستند.

ریسمان‌ها می‌توانند از طریق شکافتن و دوباره پیوند خوردن با یکدیگر برهم‌کنش داشته باشند. این‌ها همان برهم‌کنش‌هایی هستند که بین الکترون‌ها و پروتون‌ها در اتم شاهد آن هستیم. به‌این‌ترتیب، با کمک نظریه ریسمان‌ها می‌توانیم تمام قوانین فیزیک هسته‌ای و اتمی را ایجاد کنیم. «آهنگ»هایی را که می‌توان برای ریسمان‌ها نوشت، به قوانین شیمی مربوط می‌شوند. اکنون می‌توان جهان را به شکل سمفونی عظیمی از ریسمان‌ها تعبیر کرد.

نظریه ریسمان‌ها، علاوه بر اینکه ذرات نظریه کوانتوم را به صورت نت‌های موسیقی جهان معرفی می‌کند، قادر است نظریه نسبیت اینشتین را نیز توضیح دهد. پایین‌ترین ارتعاش ریسمان، یعنی ذره اسپین ـ ۲ با جرم صفر، را می‌توان به صورت گراویتون (کوانتوم گرانش) تفسیر کرد. اگر برهم‌کنش این

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

گراویتون‌ها را محاسبه کنیم، می‌توانیم به دقت نظریه قدیمی گرانش اینشتین را، به شکل کوانتومی آن، به‌دست آوریم. وقتی ریسمانی حرکت می‌کند، یا پاره می‌شود، یا مجدداً ترمیم می‌شود، محدودیت‌های‌زیادی بر روی فضا ـ زمان اعمال می‌کند. با تحلیل و بررسی مجدد این محدودیت‌ها، دوباره به نظریه قدیمی نسبیت عام اینشتین خواهیم رسید. بنابراین نظریه ریسمان‌ها به سادگی نظریه اینشتین را، بدون نیاز به هیچ کار اضافی، توضیح می‌دهد. ادوارد ویتن گفته است که حتی اگر اینشتین هم نسبیت را کشف نکرده بود، نسبیت می‌توانست به‌عنوان محصول ثانویه نظریه ریسمان‌ها کشف شود.

زیبایی نظریه ریسمان‌ها این است که می‌توان آن را به موسیقی تشبیه کرد. موسیقی، استعاره‌ای است که از طریق آن طبیعت جهان را می‌فهمیم؛ هم در سطوح زیراتمی و هم در سطوح کیهانی. همانگونه که ویولون نواز مشهور به نام یهودی منوهین نوشته است «موسیقی، از آشفتگی نظم می‌سازد؛ زیرا که ریتم، هم آوازی را بر واگرایی تحمیل می‌کند؛ آهنگ، پیوستگی را بر جدایی تحمیل می‌کند؛ و هارمونی، سازگاری را بر ناهماهنگی تحمیل می‌کند.»

اینشتین عقیده داشت که تحقیقات او در مورد نظریه میدان یکپارچه، سرانجام به او این امکان را می‌دهد که «ذهن خدا را بخواند.» اگر نظریه ریسمان‌ها درست باشد، می‌بینیم که ذهن خدا بیانگر موسیقی کیهانی است که در فرافضای ده بعدی طنین انداخته است. گوتفرید لایب‌نیتس گفته است: «موسیقی، تمرین ریاضی مخفیانه‌ای است که روح انجام می‌دهد و خود از انجام آن بی‌خبر است.»

از نظر تاریخی، پیوند بین موسیقی و علم، پانصد سال قبل از میلاد اتفاق افتاد؛ زمانی که فیثاغوریان یونانی قوانین هارمونی را کشف کرده و آن‌ها را به صورت ریاضی درآوردند. آن‌ها دریافتند که صدایی که از ریسمان نواخته شده چنگ به گوش می‌رسد، به طول ریسمان بستگی دارد. اگر طول ریسمان چنگ را دوبرابر کنیم، آنگاه صدا به اندازه یک اُکتاو کامل پایین می‌آید. اگر طول ریسمان به اندازه دو سوم کاهش یابد، آنگاه صدا به یک پنجم تقلیل می‌یابد. بنابراین، قوانین موسیقی و هارمونی را می‌توان به صورت روابط

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

دقیق بین اعداد نشان داد. تعجبی ندارد که شعار فیثاغوریان در آن زمان این بود که «همه چیز به صورت عدد است.» در ابتدای امر، آن‌ها چنان از این نتایج راضی بودند که به خود اجازه دادند این قوانین هارمونی را به کل جهان اعمال کنند. البته تلاش آن‌ها به‌دلیل پیچیدگی عظیم ماده بی‌نتیجه ماند. از برخی جهات می‌توان گفت فیزیکدانان با طرح نظریه ریسمان‌ها، به رویای فیثاغوریان بازگشته‌اند.

ژِمی جِیمز درباره این ارتباط تاریخی گفته است: «موسیقی و علم [زمانی] چنان عمیق شده بودند، هرکسی که تصور می‌کرد بین آن‌ها تفاوتی اساسی وجود دارد، آدم نادانی محسوب می‌شد. [اما امروزه] اگر کسی بیان کند که این دو با هم اشتراک دارند، احتمال اینکه از طرف برخی بی‌سواد و از طرف برخی دیگر غیرحرفه‌ای خوانده شود را به جان خریده است ــ و بدتر از همه اینکه از طرف هردو عوام فریب خوانده شود.»

معماهای فرافضا

اما اگر ابعاد بالاتر، نه فقط در ریاضیات محض، بلکه واقعاً در طبیعت وجود داشته باشند، بنابراین نظریه‌پردازان ریسمانی با همان مشکلاتی مواجه خواهند بود که در سال ۱۹۲۱، تئودور کالوزا و فلیکس کلِین، زمانی که اولین نظریه ابعاد بالاتر را فرمول بندی کردند، با آن درگیر شدند؛ این ابعاد بالاتر کجا هستند؟ ریاضیدان گمنامی به نام کالوزا، در نامه‌ای به اینشتین، فرمول‌بندی معادلات او را در پنج بعد انجام داد (یک بعد زمان و چهار بعد فضا). از نظر ریاضی مشکلی وجود نداشت، زیرا معادلات اینشتین این قابلیت را دارند که می‌توان آن‌ها را در هر بعدی نوشت. اما نامه حاوی اظهار نظر تکان‌دهنده‌ای بود: اگر به صورت دستی، چهار بعد موجود در معادلات پنج بعدی را از هم تفکیک کنیم، به‌طور اتوماتیک به نظریه نور مکسول خواهیم رسید! به بیان دیگر، اگر تنها یک بعد پنجمی را به معادلات گرانش اینشتین بیافزاییم، نظریه نیروی الکترومغناطیسی مکسول حاصل می‌شود. اگرچه نمی‌توان بعد پنجم را دید، ولی ارتعاشات مربوط به امواج نوری

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

می‌توانند در بعد پنجم شکل بگیرند! از آنجایی‌که نسل‌هایی از فیزیکدانان و مهندسین، در طول ۱۵۰ سال گذشته، مجبور بودند معادلات سخت مکسول را به خاطر بسپارند، این نتیجه، واقعاً لذت بخش بود. از این پس، این معادلات پیچیده، بدون هیچ زحمتی، به شکل ساده‌ترین ارتعاشاتی که می‌توان در بعد پنجم یافت، ظاهر می‌شدند.

دست‌های ماهی را تصور کنید که در گودال کم عمقی، زیر برگ‌های شناور نیلوفر آبی، شنا می‌کنند. فرض کنید دنیای آن‌ها تنها دو بعد دارد. ممکن است دنیای سه بعدی ما فراتر از درک آن‌ها باشد. اما روشی وجود دارد که به‌وسیله آن، آن‌ها می‌توانند حضور بعد سوم را شناسایی کنند. اگر باران ببارد، آن‌ها بوضوح می‌توانند سایه‌های ارتعاشات را در سطح گودال آب ببینند. به‌طور مشابه درست است که ما نمی‌توانیم بعد پنجم را ببینیم، ولی اعوجاجات و تغییرات در بعد پنجم را می‌توانیم به صورت نور ببینیم.

(نظریه کالوزا، از نیروی قدرتمند و زیبای تقارن پرده برمی‌داشت. بعدها نشان داده شد که اگر ما حتی ابعاد بیشتری را به نظریه قدیمی اینشتین بیافزاییم، و آن‌ها را به ارتعاش واداریم، آنگاه این ارتعاشات در ابعاد بالاتر، بوزون‌های W و Z و گلئون‌ها را که در نیروهای هسته‌ای قوی و ضعیف یافت می‌شوند، ایجاد می‌کنند! اگر ایده کالوزا صحت می‌داشت، جهان ظاهراً بسیار ساده‌تر از چیزی بود که قبلاً تصور می‌شد. تنها ارتعاش در ابعاد بالاتر و بالاتر، می‌تواند بسیاری از نیروهای حاکم بر جهان را تولید کند.)

اگرچه اینشتین از مواجهه با این نتایج سخت متعجب شد، اما خیلی خوب بود اگر این نتایج صحت می‌داشتند. با گذشت سال‌ها، ایده کالوزا با مشکلاتی برخورد کرد که در نهایت منجر به کم رنگ شدن آن گردید. نخست اینکه، نظریه با واگرایی‌ها و ناهنجاری‌هایی که در نظریه‌های گرانش کوانتومی شایع هستند، به‌هم می‌ریخت. دوم اینکه این سوآل همواره وجود داشت: چرا نمی‌توانیم بعد پنجم را ببینیم؟ مثلاً وقتی به سمت آسمان تیری پرتاب می‌کنیم، هنگام ورود به بعد دیگر شاهد ناپدید شدن آن نیستیم. دود را در نظر بگیرید که چگونه به آهستگی به تمام نقاط فضا سرایت می‌کند. از

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

آنجایی که هیچ‌گاه شاهد این نیستیم که دود به درون ابعاد بالاتری فرو رفته و ناپدید شود، فیزیکدانان دریافتند که ابعاد بالاتر، البته اگر وجود داشته باشند، باید از ابعاد یک اتم نیز کوچک‌تر باشند. در طول قرن گذشته، عرفا و ریاضیدانان به مسئله ابعاد بالاتر پرداخته‌اند، اما فیزیکدانان این امر را به تمسخر گرفته و بیان می‌دارندکه هرگز دیده نشده که یک شیء به‌درون ابعاد بالاتر فرو رود.

یک راه نجات برای نظریه این بود که فیزیکدانان بیان کنند این ابعاد بالاتر چنان کوچک هستند که در طبیعت قابل مشاهده نیستند. دنیای ما یک دنیای چهار بعدی است و بنابراین بعد پنجم به شکل یک دایره، کوچک‌تر از یک اتم، روی هم جمع شده است؛ کوچک‌تر از آنکه بتوان از طریق آزمایش آن را مشاهده کرد.

نظریه ریسمان‌ها نیز به‌ناچار با این مشکل مواجه می‌شود. ما باید این ابعاد بالاتر ناخواسته را به صورت یک توپ کوچک لوله کنیم (در فرایندی به نام متراکم‌سازی). بر طبق نظریه ریسمان‌ها، جهان در اصل دارای ده بعد بوده و تمام نیروها در آن از طریق ریسمان با یکدیگر یکپارچه شده‌اند. اما فرافضای ده بعدی ناپایدار بوده و شش تا از این ده بعد به یک توپ کوچک لوله شدند. و سرانجام چهار بعد باقی مانده در انفجار بزرگ انبساط یافتند. دلیل اینکه ما نمی‌توانیم ابعاد دیگر را ببینیم این است که ابعاد آن‌ها بسیار کوچک‌تر از یک اتم است و بنابراین هیچ چیز نمی‌تواند به‌درون آن‌ها وارد شود. به‌عنوان مثال شیلنگ آب یا یک نی، از فاصله دور یک بعدی به‌نظر می‌رسند و با طول‌شان تعیین می‌شوند. ولی در صورتیکه از نزدیک مورد بررسی قرار بگیرند، در می‌یابیم که صفحات یا استوانه‌هایی دو بعدی هستند و بعد دوم آن‌ها به‌گونه‌ای لوله شده که از دور دیده نمی‌شود.)

چرا ریسمان‌ها؟

اگرچه تمام تلاش‌های گذشته در رابطه با یافتن یک نظریه میدان یکپارچه با شکست مواجه شدند، ولی نظریه ریسمان‌ها از این مبارزه سربلند بیرون آمد.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

در حقیقت این نظریه رقیبی ندارد. دو دلیل وجود دارد برای اینکه چرا نظریه ریسمان‌ها از بین تعداد متعددی نظریه دیگر شانس موفقیت را به‌دست آورد.

نخست اینکه این نظریه بر اساس یک شیء دارای طول (ریسمان) بنا شده است و به‌این‌ترتیب با بسیاری از واگرایی‌های مربوط به ذرات نقطه‌ای مواجه نخواهد بود. طبق مشاهده نیوتون، نیروی گرانشی که یک ذره نقطه‌ای را احاطه کرده است با نزدیک شدن به ذره بی‌نهایت می‌گردد. (در قانون مشهور عکس مجذور نیوتون، نیروی گرانش برطبق رابطه $1/r^2$ افزایش می‌یابد و بنابراین با نزدیک شدن به ذره نقطه‌ای، این عدد به سمت یک تقسیم بر صفر می‌رود که در حقیقت همان بی‌نهایت است.)

حتی در یک نظریه کوانتومی، با نزدیک شدن به ذره نقطه‌ای کوانتومی، مقدار نیرو بی‌نهایت می‌شود. در طول چندین دهه، فاینمن و دیگران مجموعه‌ای از تردستی‌ها را وضع کردند تا به کمک آن‌ها بتوان از شر این واگرایی‌ها خلاصی یافت. اما برای یک نظریه کوانتومی گرانش، حتی کوله باری از این ترفندها نیز برای حذف مقادیر بی‌نهایت کافی نیست. مشکل از اینجا ناشی می‌شود که ذرات نقطه‌ای، بی‌نهایت کوچک هستند؛ به این معنی که نیروها و انرژی‌های آن‌ها نیز بالقوه بی‌نهایت است.

اما در صورتیکه نظریه ریسمان‌ها را به دقت مورد بررسی قرار دهیم، دو مکانیزم را می‌یابیم که می‌توانند منجر به حذف این واگرایی‌ها شوند. مکانیزم اول به توپولوژی ریسمان‌ها مربوط می‌شود و دومی ناشی از تقارن ریسمان‌هاست که اَبَرتقارن نامیده می‌شود.

توپولوژی نظریه ریسمان‌ها کاملاً با توپولوژی ذرات نقطه‌ای متفاوت است و بنابراین واگرایی‌های آن نیز بسیار متفاوتند. (به این دلیل که طول ریسمان‌ها متناهی و محدود است، با نزدیک شدن به ریسمان نیروها به سمت بی‌نهایت نمی‌روند. در نزدیکی ریسمان نیروها براساس رابطه $1/L^2$ افزایش می‌یابند. L برابر با طول ریسمان است، که در مرتبه طول پلانک (10^{-33} سانتی‌متر) می‌باشد. طول L برای از بین بردن واگرایی‌ها به‌کار می‌رود.) با اینکه ریسمان یک ذره نقطه‌ای نیست، ولی ابعاد مشخصی دارد و بنابراین

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

می‌توان نشان داد که واگرایی‌ها در تمام طول ریسمان از بین رفته و بنابراین تمام مقادیر فیزیکی متناهی می‌گردند.

با اینکه از نظر حسی بسیار واضح است که واگرایی‌های نظریه ریسمان‌ها از بین رفته‌اند، عبارات ریاضی دقیق این مسئله بسیار مشکل بوده و از طریق «تابع ماژولار بیضی» به‌دست می‌آیند. این تابع یکی از عجیب‌ترین توابع در ریاضیات است و چنان تاریخچه جالبی دارد که نقشی کلیدی در یکی از فیلم‌های هالیوود داشته است. ویل هانتینگ نابغه، داستان پسر بچه خشنی مربوط به طبقه کارگر از کوچه پس کوچه‌های کمبریج است که نقش او را مَت دامون بازی می‌کند. این پسربچه استعداد حیرت‌آوری در ریاضیات دارد. او به دور از درگیری‌ها و خشونت‌های همسایگی خود، در دانشگاه MIT به عنوان سرایدار مشغول به‌کار می‌شود. اساتید دانشگاه MIT وقتی می‌بینند این پسر خشن خیابانی در حقیقت یک نابغه ریاضیات است و می‌تواند به‌راحتی مسائل سخت ریاضی را حل کند، متحیر می‌شوند. زمانی‌که در می‌یابند این پسر خیابانی ریاضیات پیشرفته را خود یادگرفته است، یکی از آن‌ها می‌گوید که «او رامانوجان دیگری است.»

در حقیقت این فیلم تا اندازه‌ای براساس زندگی اسرینیواسا رامانوجان، بزرگ‌ترین نابغه ریاضی قرن بیستم ساخته شده است. او، در آستانه شروع قرن جدید، در فقر و انزوا در حوالی مَدرَس بزرگ شد. تحت این شرایط، او ناچار بود بیشتر ریاضیات اروپایی قرن نوزدهم را بیاموزد. کار او شبیه به یک ابرنواختر بود که آسمان‌ها را با درخشش استعداد ریاضی خود روشن می‌ساخت. متأسفانه در سال ۱۹۲۰، در سن سی و هفت سالگی بر اثر بیماری سل فوت کرد. مثل مت دامون در فیلم ویل هانتینگ نابغه، او نیز رویای معادلات ریاضی را در سر می‌پروراند. در همین رابطه، تابع ماژولار بیضی که ویژگی‌های ریاضی عجیب ولی بسیار زیبایی دارد، مورد توجه او واقع شد. جالب اینجاست که تمام این ویژگی‌های زیبا و عجیب تنها در بیست و چهار بعد محقق می‌شوند. ریاضیدانان هنوز در تلاش برای رمزگشایی «دست نوشته‌های رامانوجان» هستند که پس از مرگش پیدا شدند. با نگاه به‌کار

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

رامانوجان در می‌یابیم، این تابع را می‌توان به هشت بعد تعمیم داد، که مستقیماً آن را قابل اعمال به نظریه ریسمان‌ها می‌گرداند. فیزیکدانان برای ساخت یک نظریه فیزیکی، دو بعد دیگر را نیز خود به آن افزوده‌اند. (به‌عنوان مثال عینک‌های آفتابی پولاریزه، از این حقیقت استفاده می‌کنند که نور دارای دو پولاریزاسیون فیزیکی است؛ می‌تواند به صورت چپ ـ راست یا بالا ـ پایین ارتعاش کند. اما از طرفی فرمول ریاضی نور در معادلات مکسول با چهار مولفه مشخص شده است. دو تا از این چهار ارتعاش در حقیقت اضافی هستند.) زمانی که دو بعد دیگر را به توابع رامانوجان می‌افزاییم، «اعداد جادویی» ۱۰ و ۲۶ حاصل می‌شوند، که دقیقاً با «اعداد جادویی» نظریه ریسمان‌ها برابر هستند. بنابراین از برخی جهات می‌توان گفت رامانوجان قبل از جنگ جهانی اول با نظریه ریسمان‌ها دست و پنجه نرم می‌کرده است.

ویژگی‌های شگفت‌آور توابع ماژولار بیضی، توضیح می‌دهند که چرا نظریه باید در ده بعد وجود داشته باشد. تنها در ابعادی برابر با این عدد واگرایی‌هایی که گریبانگیر نظریه‌های دیگر شده‌اند، به‌طور جادویی از بین می‌روند. اما توپولوژی ریسمان‌ها به تنهایی برای حذف تمام واگرایی‌ها قدرت کافی را ندارد. واگرایی‌های باقی مانده این نظریه از طریق ویژگی دوم نظریه ریسمان‌ها، یعنی تقارن، از بین می‌روند.

اَبَرتقارن

یک ریسمان، دارای برخی از بزرگ‌ترین تقارن‌هایی است که تاکنون در علم شناخته شده‌اند. در فصل چهارم، در بحث مربوط به تورم و مدل استاندارد، دیدیم که وجود تقارن باعث می‌شود تا بتوان ذرات زیراتمی را به شکل الگوهای زیبا و مطلوبی آراست. سه نوع کوارک موجود می‌توانند بر طبق تقارن $SU(3)$ در کنار هم قرار گرفته و به‌راحتی با یکدیگر تعویض شوند. در نظریه گات می‌توان پنج نوع کوارک و لپتون را بر طبق تقارن $SU(5)$ در کنار هم قرار داد.

در نظریه ریسمان‌ها، این تقارن‌ها، واگرایی‌ها و ناهنجاری‌های باقی مانده

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

نظریه را حذف می‌کنند. از آنجایی‌که تقارن یکی از قدرتمندترین و زیباترین ابزار در دسترس ما است، می‌توان انتظار داشت که نظریه جهان باید دارای زیباترین و قدرتمندترین تقارن شناخته شده در علم باشد. منطقی است گزینه انتخابی باید دارای تقارنی باشد که نه فقط برای کوارک‌ها، بلکه امکان جابجایی را برای تمام ذرات یافت شده در طبیعت فراهم آورد. یعنی اگر ما تمام ذرات زیراتمی را با یکدیگر جابجا کنیم، معادله به همان صورت باقی بماند. این توصیف صحیح تقارن اَبَر ریسمان‌ها، یا اَبَر تقارن است. اَبَرتقارن، تنها تقارنی است که در آن امکان جابجایی تمام ذرات زیراتمی شناخته شده در فیزیک وجود داشته باشد. واضح است که چنین تقارنی بهترین کاندیدا برای تقارنی است که باعث می‌شود تمام ذرات جهان با یکدیگر به صورت یک کل یکپارچه، ظریف و زیبا متحد شوند.

اگر به نیروها و ذرات جهان بنگریم، همه آن‌ها بر اساس جهت چرخش‌شان به دو دسته تقسیم می‌شوند: فرمیون‌ها و بوزون‌ها. تمام آن‌ها همانند فرفره‌های کوچک چرخان رفتار می‌کنند که قادرند با سرعت‌های مختلفی بچرخند. به‌عنوان مثال فوتون، ذره‌ای از نور که نیروی الکترومغناطیسی را حمل می‌کند، دارای اسپینی برابر ۱ است. نیروهای هسته‌ای ضعیف و قوی از طریق بوزون‌های W و گلئون‌ها حمل می‌شوند، که آن‌ها نیز اسپینی برابر ۱ دارند. گراویتون، ذره‌ای است از نوع گرانش، با اسپین-۲. تمام این ذرات که عدد اسپین آن‌ها صحیح است، بوزون نامیده می‌شوند. به‌طور مشابه، ذرات ماده به‌وسیله ذرات زیراتمی با اسپین نیمه توصیف می‌شوند، ۵/۲، ۳/۲، ۱/۲ و الی آخر. (ذرات با اسپین نیمه، فرمیون نامیده می‌شوند و شامل الکترون‌ها، نوترینوها و کوارک‌ها هستند.) بنابراین ابر تقارن به زیبایی نشانگر دوگانگی بین بوزون‌ها و فرمیون‌ها، همچنین بین نیروها و مواد است.

در نظریه اَبَرمتقارن، تمام ذرات زیراتمی دارای یک زوج هستند: هر فرمیون با یک بوزون زوج می‌شود. اگرچه ما هرگز چنین زوج‌های ابرمتقارنی را در طبیعت ندیده‌ایم، با این حال فیزیکدانان زوج الکترون را به نام

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

«سِلِکترون» و با اسپین صفر معرفی کرده‌اند. (فیزیکدانان با افزودن یک S به ابتدای نام هر ذره، اَبَرزوج آن را نامگذاری می‌کنند.) برهم‌کنش‌های ضعیف از طریق ذراتی به نام لپتون صورت می‌گیرد و به‌این‌ترتیب اَبَرزوج آن اِسلپتون نامیده می‌شود. به‌همین ترتیب کوارک نیز می‌تواند زوجی با اسپین صفر به نام اسکوارک داشته باشد. به‌طور کلی، زوج‌های ذرات شناخته شده (کوارک‌ها، لپتون‌ها، گراویتون‌ها، فوتون‌ها...) اِس ذرات یا اَبَرذرات نامیده می‌شوند. این اَبَرذرات هنوز در اتم‌شکن‌ها مشاهده نشده‌اند (شاید به این دلیل که ماشین‌های ما برای ساختن آن‌ها هنوز قدرت کافی ندارند).

اما از آنجاکه تمام ذرات زیراتمی، یا بوزون هستند یا فرمیون، بنابراین یک نظریه ابرمتقارن این قابلیت را دارد که تمام ذرات زیر اتمی شناخته شده را تنها با استفاده از یک نوع تقارن یکپارچه سازد. ما هم‌اکنون تقارنی داریم که برای در بر گرفتن کل جهان به اندازه کافی بزرگ است.

دانه برفی را در نظر بگیرید. فرض کنید که هر کدام از شش قسمت دانه برف بیانگر یک ذره زیراتمی باشند، به‌این‌ترتیب که هر شاخه یک بوزون و شاخه بعدی آن فرمیون باشد. زیبایی این دانه «اَبَربرف» در این است که با چرخاندن آن شکلش تغییری نمی‌کند. به‌این‌ترتیب این اَبَربرف تمام ذرات و زوج‌های آن‌ها را با هم متحد می‌سازد. بنابراین اگر قصد داشته باشیم یک نظریه میدان یکپارچه فرضی با تنها شش ذره بسازیم، دانه اَبَربرف کاندیدای طبیعی برای این‌کار محسوب می‌شود.

اَبَرتقارن به حذف بی‌نهایت‌های باقی مانده در نظریه کمک می‌کند. از قبل دیدیم که اغلب واگرایی‌ها به‌دلیل توپولوژی ریسمان خودبخود حذف می‌شوند. از آنجایی‌که ریسمان طول محدودی دارد، نیروها با نزدیک شدن به ریسمان نامتناهی نمی‌گردند. بررسی‌ها نشان می‌دهند واگرایی‌های باقی مانده از دو نوع بوده که ناشی از برهم‌کنش بوزون‌ها و فرمیون‌ها هستند. به‌هرحال این دو نوع برهم‌کنش همواره با علامت‌های مخالف رخ می‌دهند، بنابراین سهم بوزون دقیقاً سهم فرمیون را خنثی می‌کند! به بیان دیگر، از آنجایی‌که برهم‌کنش فرمیونی و بوزونی همواره علامت‌های مخالف

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

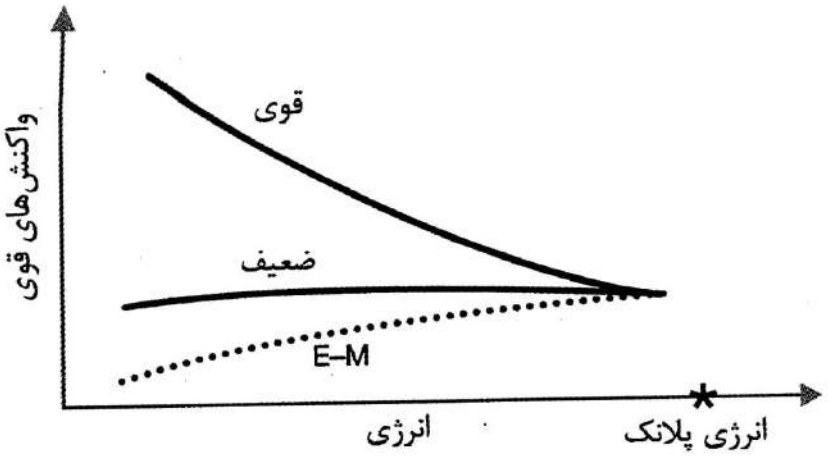
داشته‌اند، بی‌نهایت‌های باقی مانده در نظریه یکدیگر را خنثی می‌کنند. بنابراین اَبَرتقارن چیزی بیش از یک نمایش کالا در ویترین است؛ این نظریه، نه فقط به‌دلیل اینکه تمام ذرات طبیعت را با هم یکپارچه می‌کند، زیبا و مطلوب است بلکه به‌منظور خنثی کردن واگرایی‌های نظریه ریسمان‌ها، وجودش ضروری است.

مثال طراحی یک موشک صاف و صیقلی را به خاطر آورید، که در آن لرزش بال‌ها می‌توانست رفته رفته بیشتر شده و منجر به کنده شدن بال‌ها گردد. یک راه حل برای جلوگیری از این فاجعه، استفاده از قدرت تقارن است. به‌این‌ترتیب که بال‌ها را به‌گونه‌ای طراحی کنیم که لرزش در یک بال، لرزش در بال دیگر را خنثی کند. وقتی یکی از بال‌ها در جهت ساعتگرد ارتعاش می‌کند، بال دیگر در جهت پاد ساعتگرد مرتعش شده و بنابراین لرزش اولی را خنثی می‌کند. به‌این‌ترتیب تقارن موشک، به‌جای اینکه تنها یک ویژگی ساختگی و زیبایی هنرمندانه باشد، برای خنثی‌سازی و متعادل کردن فشارهای بر روی بال ضروری است. به‌طور مشابه، اَبَرتقارن با استفاده از این حقیقت که ذرات بوزونی و فرمیونی یکدیگر را خنثی می‌کنند، واگرایی‌ها را حذف می‌کند.

(به‌علاوه، نظریه اَبَرتقارن به حل مجموعه‌ای از مشکلات شدیداً تکنیکی که برای نظریه گات مهلک هستند کمک می‌کند. درحقیقت، نظریه گات برای رهایی از تناقضات پیچیده ریاضی نیاز به اَبَرتقارن دارد.)

اگرچه اَبَرتقارن ایده قدرتمندی است، ولی در حال حاضر هیچ‌گونه شواهد تجربی در تائید آن وجود ندارد. دلیل آن می‌تواند این باشد که اَبَرزوج الکترون‌ها و پروتون‌ها سنگین‌تر از آن هستند که بتوان آن‌ها را در شتاب‌دهنده‌های امروزی ذرات تولید کرد. با این حال واقعیت آزاردهنده‌ای وجود دارد که به ابرتقارن منتهی می‌شود. ما هم‌اکنون می‌دانیم که قدرت‌های سه نیروی کوانتومی کاملاً با هم متفاوت هستند. در حقیقت در انرژی‌های کم، نیروی قوی ۳۰ برابر قوی‌تر از نیروی ضعیف است و ۱۰۰ برابر قدرتمندتر از نیروی الکترومغناطیسی. البته همواره به‌این‌ترتیب نبوده است.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly



قدرت نیروهای ضعیف، قوی و الکترومغناطیسی، در زندگی روزمره ما با هم کاملاً متفاوتند. با این حال در انرژی‌هایی در مقیاس انفجار بزرگ، قدرت این نیروها دقیقاً باید نزدیک به‌هم باشد. این نزدیکی تنها در صورتی رخ می‌دهد که نظریه اَبَرمتقارنی وجود داشته باشد. بنابراین شاید بتوان گفت اَبَرتقارن در هر نظریه میدان یکپارچه عنصر کلیدی محسوب می‌شود.

احتمال می‌دهیم که درست در لحظه انفجار بزرگ، تمام سه نیرو از نظر قدرت با هم برابر بوده باشند. با بازگشت به عقب در زمان، فیزیکدانان می‌توانند قدرت این سه نیرو را در ابتدای زمان محاسبه کنند. با بررسی مدل استاندارد، فیزیکدانان در می‌یابند که به‌نظر می‌رسد در نزدیکی انفجار بزرگ این سه نیرو از نظر قدرت به‌هم نزدیک باشند. اما دقیقاً با هم برابر نیستند. زمانی که اَبَرتقارن را بیافزاییم این سه نیرو دقیقاً دارای قدرت برابر می‌شوند؛ دقیقاً همان چیزی که یک نظریه میدان یکپارچه مطرح می‌کند. اگر چه این دلیل اصلی برای وجود اَبَرتقارن محسوب نمی‌شود، ولی حداقل نشان می‌دهد که اَبَرتقارن با فیزیک شناخته شده ما سازگار است.

استخراج مدل استاندارد

اگرچه اَبَرریسمان هیچ پارامتر تعدیل پذیری ندارد، با این حال نظریه ریسمان‌ها می‌تواند، با مجموعه درهم آمیخته‌ای از ذرات زیراتمی عجیب و

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

نوزده پارامتر آزاد (مثل جرم ذرات و قدرت تزویج آن‌ها)، پاسخ‌هایی را ارائه دهد که به‌طور حیرت‌آوری نزدیک به مدل استاندارد هستند. به‌علاوه مدل استاندارد دارای سه کپی برابر و تکراری از تمام کوارک‌ها و لپتون‌ها است که کاملاً غیرضروری به‌نظر می‌رسند. خوشبختانه نظریه ریسمان‌ها می‌تواند بسیاری‌از ویژگی‌های کیفی مدل استاندارد را به‌راحتی استخراج کند. معنی این امر، به‌دست آوردن چیزی بدون پرداخت بهای آن است. در سال ۱۹۸۴، فیلیپ کندِلاس از دانشگاه تکزاس، گَری هورویتس و اندرو استرومینگر از دانشگاه کالیفرنیا در سانتا باربارا، و ادوارد ویتن به کمک هم نشان دادند که اگر شما شش تا از ده بعد نظریه ریسمان‌ها را حذف کنید، و هنوز هم اَبَرتقارن را در چهار بعد باقی مانده داشته باشید، آنگاه دنیای کوچک شش بعدی را می‌توان از طریق آنچه که ریاضیدانان به آن چند لایه‌ی Calabi-Yau می‌گویند، توصیف کرد. با انجام تعداد کمی انتخاب ساده از فضاهای Calabi-Yau، نشان دادند که تقارن نظریه ریسمان‌ها را می‌توان به نظریه‌ای که بسیار به مدل استاندارد نزدیک است، شکست.

به‌این‌ترتیب نظریه ریسمان‌ها می‌تواند به این سوآل که چرا مدل استاندارد دارای سه نسل اضافی دیگر است به‌راحتی پاسخ دهد. در نظریه ریسمان‌ها، تعداد نسل‌ها یا نسخه‌های موجود در مدل کوارک، به تعداد «سوراخ»هایی که در چند لایه‌ی Calabi-Yau داریم، مربوط می‌شود. (به‌عنوان مثال، یک پیراشکی، یک لاستیک تیوب اتومبیل، و یک فنجان قهوه، هر سه، سطوحی با یک سوراخ هستند. فریم‌های عینک دارای دو سوراخ هستند. سطوح Calabi-Yau می‌توانند به تعداد دلخواه سوراخ داشته باشند.) بنابراین تنها با انتخاب چند لایه‌ی Calabi-Yau که تعداد مشخصی سوراخ داشته باشد، می‌توانیم مدل استانداردی بسازیم که دارای نسل‌های متفاوتی از کوارک‌های اضافی باشد. (از آنجایی‌که ما هرگز نمی‌توانیم فضای Calabi-Yau را ببینیم (زیرا بسیار کوچک است)، هرگز نخواهیم توانست شاهد وجود سوراخ‌های آن باشیم.) در طول سال‌ها گروه‌های مختلفی از فیزیکدانان، با علم به این موضوع که توپولوژی این فضای شش بعدی، کوارک‌ها و لپتون‌های جهان

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

چهار بعدی ما را تعیین می‌کند، به سختی تلاش کردند تا فهرستی از تمام فضاهای ممکن Calabi-Yau تهیه کنند.

نظریه M

هیجان ناشی از ظهور نظریه ریسمان‌ها که در سال ۱۹۸۴ بپا خاسته بود، تا ابد ادامه نیافت. در اواسط دهه ۱۹۹۰، ارکستر ابرریسمان‌ها به مرور زمان اهمیت خود را در بین فیزیکدانان از دست داد. مواجهه با مشکلات ساده دانشمندان را از پرداختن به مشکلات عمقی‌تر بازداشت. یکی از این مشکلات وجود میلیاردها پاسخ برای معادلات ریسمان بود. با فشردن و حلقه کردن ساختار فضا-زمان به روش‌های مختلف، می‌توان پاسخ‌های ریسمان را در هر بعدی (و نه فقط در چهار بعد) نوشت. هرکدام از میلیاردها پاسخ ریسمان، به یک جهان از نظر ریاضی خود سازگار، مربوط می‌شوند.

فیزیکدانان با انبوهی از پاسخ‌های ریسمان‌ها مواجه شدند. بسیاری از آن‌ها به‌طور قابل توجهی شبیه به جهان ما به‌نظر می‌رسیدند. با انتخاب مناسب فضای Calabi-Yau، ایجاد مجدد بسیاری از ویژگی‌های کلی مدل استاندارد، با مجموعه عجیبش از کوارک‌ها و لپتون‌ها حتی با وجود مجموعه نادر نسخه‌های کپی، نسبتاً ساده خواهد بود. با این حال یافتن دقیق مدل استاندارد، با مقادیر مشخص نوزده پارامتر آن و سه نسل تکراری، بسیار مشکل بود (و حتی امروزه هم در بین دانشمندان به صورت مبارزه‌ای در جریان است). (تعداد زیاد پاسخ‌های ریسمان‌ها از جانب فیزیکدانانی که به ایده جهان‌های چندگانه معتقد بودند مورد استقبال واقع شد، زیرا هر پاسخی نمایانگر یک جهان موازی کاملاً خود سازگار است. اما باعث تاسف بود که فیزیکدانان در یافتن دقیق جهان ما در بین این جنگل از جهان‌ها دچار مشکل بودند.)

یکی از دلایل دشواری این مسئله این است که چون ما در دنیای کم انرژی خود ابرتقارن را نمی‌بینیم، سرانجام باید جایی ابرتقارن شکسته شود. به‌عنوان مثال ما در طبیعت سلکترون، یعنی همان اَبَرزوج الکترون، را

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

نمی‌بینیم. اگر اَبَرتقارن شکسته نشود آنگاه جرم هر ذره باید با جرم اَبَرزوج آن برابر باشد. فیزیکدانان عقیده دارند که اَبَرتقارن شکسته و در نتیجه جرم اَبَرذرات بسیار بیشتر شده است؛ یعنی فراتر از محدوده شتابدهنده‌های امروزی ذرات. اما تاکنون هیچ کس مکانیزم معتبری را برای شکستن اَبَرتقارن پیشنهاد نکرده است.

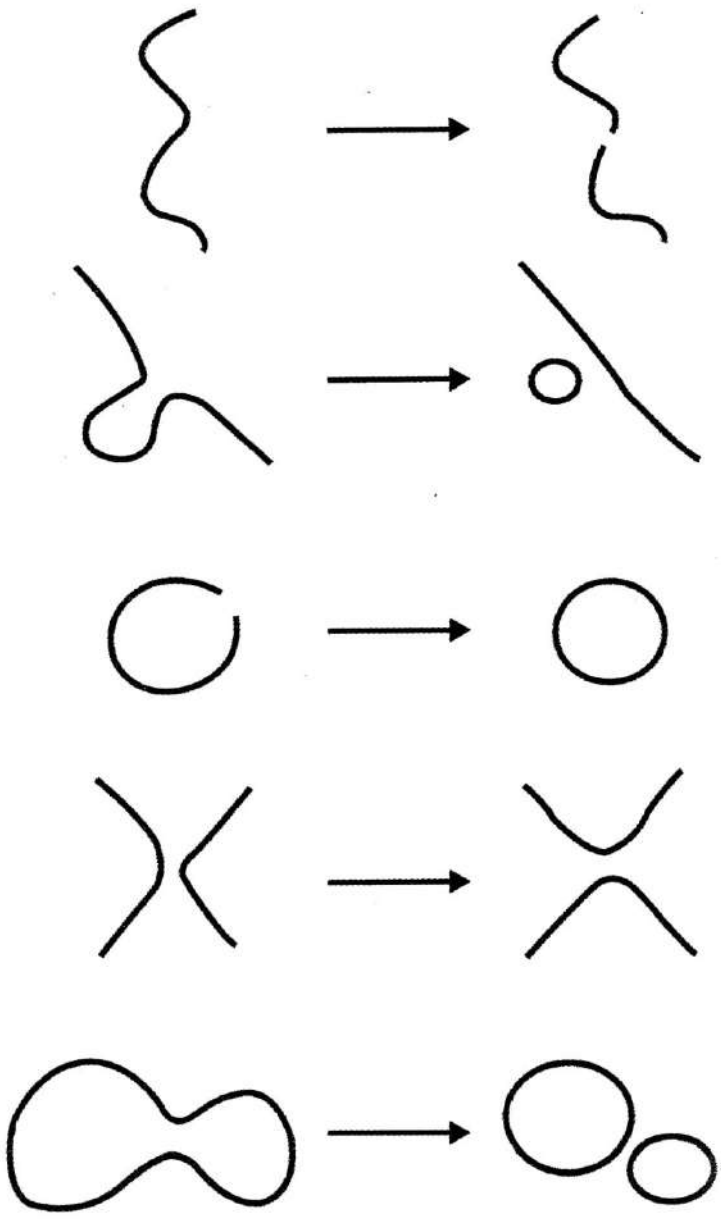
دیوید گراس، از انستیتوی کاولی فیزیک نظری در سانتا باربارا، خاطرنشان کرده است که در سه بعد فضایی، میلیون‌ها میلیون پاسخ برای نظریه ریسمان‌ها وجود دارد و این مسئله شرم‌آور است زیرا که روش مناسبی برای انتخاب از بین آن‌ها وجود ندارد.

ابهامات دیگری نیز وجود دارند. یکی از پر رنگ‌ترین آن‌ها این حقیقت بود که پنج نظریه ریسمانی خود سازگار وجود داشت. تصور اینکه جهان بتواند پنج نظریه مجزای میدان یکپارچه را تحمل کند بسیار مشکل بود. اینشتین عقیده داشت که خداوند در خلق جهان حق انتخابی نداشته است، پس چرا باید پنج تا از آن‌ها را خلق کند؟

نظریه اصلی که براساس فرمول ونتزیانو شکل گرفته است، توصیف گر نظریه ریسمانی نوع ۱ است. نظریه نوع ۱، بر پایه هر دو نوع ریسمان باز (ریسمان‌هایی با دو انتهای باز) و بسته (ریسمان‌های حلقه‌ای) بنا شده است. این نظریه بیشتر در اوایل دهه ۱۹۷۰ مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. (کیکاوا و من، با استفاده از نظریه میدان ریسمان‌ها، موفق شدیم تا فهرستی از مجموعه کامل برهم‌کنش‌های ریسمانی نوع ۱ تهیه کنیم. ما نشان دادیم که ریسمان‌های نوع ۱ دارای پنج شکل مختلف برهم‌کنش هستند؛ و برای ریسمان‌های بسته نشان دادیم که تنها یک نوع برهم‌کنش کافی است.)

کیکاوا و من همچنین نشان دادیم که ایجاد نظریه‌های کاملاً خود سازگار تنها با استفاده از ریسمان‌های بسته (شبیه به حلقه) امکان‌پذیر است. امروزه این‌ها به نام نظریه‌های ریسمانی نوع ۲ شناخته شده‌اند، که در آن‌ها برهم‌کنش ریسمان‌ها از طریق تبدیل یک ریسمان دایره شکل به دو ریسمان کوچک‌تر (شبیه به تقسیم سلولی) صورت می‌گیرد.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly



در ریسمان‌های نوع ۱ پنج برهم‌کنش ممکن وجود دارد، که در هرکدام از آن‌ها ریسمان‌ها می‌توانند شکسته، به‌هم متصل یا تجزیه شوند. برای ریسمان‌های بسته تنها آخرین برهم‌کنش ضروری است. (شبیه به تقسیم سلولی)

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

واقع بینانه‌ترین نظریه ریسمانی به نام نظریه ریسمان هتروتیک[1] شناخته می‌شود که به‌وسیله گروهی از دانشمندان در پرینستون (دیوید گراس، یل مارتینِک، رایان رام، و جفری هاروِی) فرمول بندی شده است. ریسمان‌های هتروتیک می‌توانند شامل گروه‌های تقارن یا $E(8)\times E(8)$ یا $O(32)$ باشند که آنقدر بزرگ هستند که بتوانند نظریه‌های گات را در خود ببلعند. نظریه ریسمان هتروتیک کاملاً براساس ریسمان‌های بسته بنا شده است. در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰، زمانی که دانشمندان برای اولین‌بار ابرریسمان‌ها را مطرح کردند، به‌طور ضمنی منظور آن‌ها ریسمان هتروتیک بوده است. زیرا چنین نظریه ریسمانی به‌اندازه کافی قدرت داشت تا امکان بررسی مدل استاندارد و نظریه‌های گات را فراهم کند. به‌عنوان مثال گروه تقارن $E(8)\times E(8)$ را می‌توان به $E(8)$ و سپس $E(6)$ شکست که بنوبه خود برای اینکه شامل تقارن $SU(3)\times SU(2)\times U(1)$ شود، به اندازه کافی بزرگ است.

راز اَبَرگرانش

علاوه بر پنج نظریه اَبَرریسمان‌ها، مسئله حل نشده دیگری وجود داشت که در هجوم برای یافتن نظریه ریسمان‌ها به فراموشی سپرده شده بود. در سال ۱۹۷۶، سه فیزیکدان به نام‌های پیتر وَن نیووِنهایزِن، سرژیو فِرارا، و دانیل فریدمن که در آن زمان در دانشگاه ایالتی نیویورک در استونی بروک کار می‌کردند، دریافتند که نظریه اصلی گرانش اینشتین را می‌توان تنها با معرفی یک میدان جدید، یعنی یک اَبَرزوج برای میدان اصلی گرانش (به نام گراویتینو، به معنی گراویتون کوچک، با اسپین ۳/۲)، اَبَرمتقارن ساخت. این نظریه جدید اَبَرگرانش نام گرفت. اساس این نظریه، به‌جای ریسمان‌ها، ذرات نقطه‌ای بودند. برخلاف اَبَرریسمان، با زنجیره نامتناهی از نت‌ها و رزونانس‌ها، اَبَرگرانش تنها دو ذره داشت. در سال ۱۹۷۸، اوگِن کرِمِر، جوئل شِرک و برنارد جولیا از مدرسه عالی اکول نرمال، نشان دادند که جامع‌ترین

1. Heterotic string theory

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

نظریه اَبَرگرانش را می‌توان در یازده بعد نوشت. (در صورتی که بخواهیم نظریه ابرگرانش را در دوازده یا سیزده بعد بنویسیم، تناقضات ریاضی به‌وجود می‌آیند.) در اواخر دهه ۱۹۷۰ و اوائل دهه ۱۹۸۰ تصور بر این بود که ابرگرانش ممکن است همان نظریه افسانه‌ای میدان یکپارچه باشد. حتی زمانی که استیون هوکینگ در میهمانی افتتاحیه کسب کرسی لوکاسین ریاضیات در دانشگاه کمبریج (همان کرسی که زمانی در اختیار ایزاک نیوتون بود) سخنرانی می‌کرد، به نزدیک شدن «انتهای فیزیک نظری» اشاره کرد. اما اَبَرگرانش نیز به‌زودی با همان مشکلاتی که دیگر نظریه‌های پیشین را از پای در آورده بود مواجه شد. اگرچه این نظریه بی‌نهایت‌های کم‌تری نسبت به یک نظریه میدان معمولی داشت، در بررسی‌های نهایی مشخص شد که اَبَرگرانش متناهی نیست و احتمالاً ناهنجاری‌های موجود در آن منجر به از بین رفتن نظریه می‌شود. این نظریه نیز، مثل تمام دیگر نظریه‌های میدان (به جز نظریه ریسمان‌ها) ناگهان از چشم دانشمندان افتاد.

نظریه اَبَرمتقارن دیگری که می‌تواند در یازده بعد وجود داشته باشد، نظریه اَبَرپوسته‌ها است. اگرچه ریسمان تنها یک بعد دارد که طول آن را مشخص می‌کند، یک اَبَرپوسته می‌تواند دو بعد یا بیشتر داشته باشد، زیرا نشانگر یک سطح است. به‌علاوه مشخص شد که دو نوع از پوسته‌ها (پوسته دو بعدی و پنج بعدی) نیز در یازده بعد، خود سازگار هستند.

با این وجود اَبَرپوسته‌ها نیز دارای مشکلاتی بودند؛ آشکارا کار با آن‌ها سخت بوده و نظریه‌های کوانتومی آن‌ها از یکدیگر واگرا می‌شوند. درحالی‌که ریسمان‌های ساز ویولون چنان ساده هستند که فیثاغوریان یونانی توانستند قوانین هارمونی آن را در ۲۰۰۰ سال پیش استخراج کنند، از طرف دیگر، کار با پوسته‌ها چنان دشوار است که حتی امروزه نیز نتوانسته‌اند نظریه رضایت بخشی براساس مدل موسیقی برای آن‌ها ارائه دهند. به‌علاوه نشان داده شد که این پوسته‌ها ناپایدارند و سرانجام به شکل ذرات نقطه‌ای در می‌آیند.

بنابراین در اواسط دهه ۱۹۹۰، فیزیکدانان با اسرار متعددی مواجه بودند.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

به چه علت در ده بعد پنج نظریه ریسمانی مختلف وجود دارد؟ و چرا در یازده بعد دو نظریه، اَبَرگرانش و اَبَرپوسته‌ها، وجود دارند؟ جالب اینجاست که همه دارای اَبَرتقارن هستند.

بعد یازدهم

در سال ۱۹۹۴، اتفاق مهمی افتاد. کشف تازه‌ای، بار دیگر، چشم انداز موجود را تغییر داد. ادوارد ویتن به‌همراه پل تاوسند از دانشگاه کمبریج، از نظر ریاضی نشان دادند که نظریه ده بعدی ریسمان‌ها در حقیقت تقریبی از یک نظریه بزرگ‌تر یازده بعدی با یک منشأ ناشناخته است. به‌عنوان مثال ویتن نشان داد که اگر نظریه پوسته‌ای را در فضای یازده بعدی در نظر بگیریم، و سپس یکی از ابعاد را لوله کنیم، آنگاه به نظریه ریسمانی ده بعدی نوع IIa تبدیل می‌شود

پس از آن به سرعت دریافتند که تمام پنج نظریه ریسمان‌ها را می‌توان به یک شکل نشان داد و آن‌ها تنها تقریب‌های متفاوتی از همان نظریه یازده بعدی ریسمان‌ها هستند. از آنجا که در یازده بعد انواع مختلف پوسته‌ها می‌توانند وجود داشته باشند، ویتن این نظریه جدید را نظریه M نامید. اما این نظریه نه تنها پنج نظریه متفاوت ریسمان‌ها را با یکدیگر یکپارچه می‌ساخت، بلکه پرده از راز اَبَرگرانش نیز بر می‌داشت.

اگر به خاطر داشته باشید، اَبَرگرانش یک نظریه یازده بعدی تنها شامل دو ذره با جرم صفر بود که یکی از این دو ذره همان گراویتون اصلی اینشتین و دیگری زوج اَبَرمتقارن آن (به نام گراویتینو) است. از طرف دیگر، نظریه M دارای تعداد نامحدودی از ذرات با جرم‌های مختلف است (که مربوط می‌شوند به ارتعاشات نامحدودی که می‌توان بر روی نوعی پوسته یازده بعدی ایجاد کرد). ولی اگر ما فرض کنیم که بخش کوچکی از نظریه M (شامل تنها ذرات بدون جرم) همان نظریه قدیمی اَبَرگرانش است، آنگاه این نظریه می‌تواند وجود اَبَرگرانش را نیز توضیح دهد. به بیان دیگر، نظریه اَبَرگرانش زیرمجموعه کوچکی از نظریه M است. به‌طور مشابه اگر نظریه پوسته‌ای

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

یازده بعدی را در نظر بگیریم و یک بُعد از آن را لوله کنیم، آنگاه مفهوم پوسته به یک ریسمان تبدیل خواهد شد. در حقیقت دقیقاً به نظریه نوع II ریسمان‌ها تبدیل می‌شود. به‌عنوان مثال اگر به کره‌ای در یازده بعد بنگریم و سپس یک بعد آن را لوله کنیم، شکل کره از بین رفته و دایره استوایی آن به یک ریسمان بسته تبدیل می‌شود. می‌بینیم که اگر بعد یازدهم را به دایره کوچکی لوله کنیم، نظریه ریسمانی را می‌توان به‌عنوان تکه‌ای از یک پوسته در یازده بعد نشان داد.

بنابراین ما موفق شده‌ایم روش زیبا و ساده‌ای را برای یکپارچه ساختن تمام فیزیک ده و یازده بعدی، در یک نظریه مستقل، بیابیم. این مسئله از نظر فکری کار بسیار بزرگی محسوب می‌شد.

من هنوز شوک ناشی از این کشف ناگهانی را به خاطر دارم. در آن زمان در دانشگاه کمبریج سخنرانی داشتم. پاول تانسند از سر لطف مرا به مستمعین معرفی کرد. اما قبل از اینکه من شروع به صحبت کنم، او با هیجان زیاد به توضیح نتایج جدید پرداخت، مبنی بر اینکه در بعد یازدهم نظریه‌های ریسمانی مختلف را می‌توان در یک نظریه مستقل با یکدیگر یکپارچه کرد.

یک ریسمان ده بعدی را می‌توان، از طریق تکه کردن یا لوله کردن یک بعد، از یک پوسته یازده بعدی به‌دست آورد. دایره استوای یک پوسته پس از حذف یک بعد به ریسمان تبدیل می‌شود. پنج روش برای این کاهش بعد وجود دارد که باعث می‌شود پنج نظریه ابرریسمانی مختلف در ده بعد پدید آیند.

عنوان سخنرانی من به ده بعد اشاره داشت. قبل از اینکه من شروع به صحبت کنم، او خاطرنشان کرد اگر این ادعا ثابت شود، دیگر عنوان سخنرانی من بی‌معنی خواهد بود.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

من با خودم فکر کردم: «اوه اوه.» یا او دیوانه شده بود یا اینکه جامعه فیزیک به سمتی می‌رفت که کاملاً زیر و رو شود.

نمی‌توانستم چیزی را که می‌شنیدم باور کنم. بنابراین رگباری از سولات را به سویش سرازیر کردم. من نشان دادم که یک اَبَرپوسته یازده بعدی، نظریه‌ای که او خودش به فرمول بندی آن کمک کرده بود، بلااستفاده است زیرا از نظر ریاضی غیرقابل کنترل است و بدتر اینکه ناپایدار هم هست. او تصدیق کرد این مشکلات وجود دارد ولی دلگرم بود از اینکه این مشکلات در آینده برطرف خواهند شد.

من همچنین گفتم که اَبَرگرانش یازده بعدی متناهی نبوده و درست مثل دیگر نظریه‌ها، البته به غیرا از نظریه ریسمان‌ها، از هم می‌پاشد. او با آرامش پاسخ داد که آن مسئله دیگر یک مشکل محسوب نمی‌شود، زیرا که اَبَرگرانش چیزی نیست جز تقریبی از یک نظریه بزرگ‌تر ولی درعین حال هنوز مبهم، به نام نظریه که خود متناهی است. در حقیقت همان نظریه ریسمان‌ها بود که این‌بار در بعد یازدهم برحسب پوسته‌ها فرمول بندی شده بود.

سپس من بیان کردم که وجود اَبَرپوسته‌ها غیرقابل قبول است، زیرا هیچ کس هرگز نتوانسته است توضیح دهد که چگونه پوسته‌ها هنگام برخورد با هم یا شکل‌گیری مجدد، با یکدیگر برهم‌کنش دارند (کاری که من سال‌ها پیش در پایان نامه دکترای خود برای نظریه ریسمان‌ها انجام داده بودم). او این‌بار هم تصدیق کرد که این مشکل وجود دارد ولی باز هم دلگرم بود از اینکه حل خواهد شد.

در آخر من گفتم که نظریه در حقیقت اصلاً یک نظریه نیست، زیرا که معادلات اساسی آن مشخص نیستند. برخلاف نظریه ریسمان‌ها (که می‌توانست به صورت عباراتی از معادلات ساده میدان ریسمان که سال‌ها پیش نوشته بودم و کل نظریه را در بر می‌گرفت، بیان شود.)، پوسته‌ها هیچ نظریه میدانی نداشتند. او این مسئله را نیز تائید کرد. با این حال هنوز هم دلگرم بود به اینکه معادلات نظریه بالاخره پیدا می‌شوند.

ذهن من عاجز شد. اگر حرف‌های او حقیقت داشت، نظریه ریسمانی بار

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

دیگر دچار یک تغییر شکل بنیادی می‌گردید. پوسته‌ها که یکبار به سطل زباله تاریخ فیزیک انداخته شده بودند، ناگهان بار دیگر احیا شدند.

منشاء این تحول آن است که نظریه ریسمان‌ها هنوز رو به عقب تکامل می‌یابد. حتی امروزه نیز هیچ کس اصول فیزیکی ساده‌ای را که زمینه یک نظریه کامل است، نمی‌شناسد. مایلم این موضوع را به این صورت به تصویر بکشم که فردی در حال راه رفتن در بیابان است و کاملاً تصادفی به سنگ کوچک زیبایی برخورد می‌کند. وقتی شن‌های روی سنگ را پاک می‌کند در می‌یابد که سنگ در حقیقت قسمت فوقانی یک هرم غول‌پیکر است که در زیر تن‌ها شن مدفون شده است. پس از ده‌ها سال استخراج شن و خاکبرداری، به خط اسرارآمیز هیروگلیف و حجره‌ها و تونل‌های مخفی برخورد می‌کند. سرانجام یک‌روز به طبقه همکف رسیده و دروازه ورودی را باز می‌کند.

دنیای پوسته‌ها[1]

یکی از ویژگی‌های بدیع نظریه M این است که نظریه، تنها ریسمان‌ها را معرفی نمی‌کند، بلکه مجموعه کاملی از پوسته‌ها با ابعاد مختلف را نیز معرفی می‌کند. در این تصویر، ذرات نقطه‌ای پوسته صفر بعدی نامیده می‌شوند. زیرا آن‌ها بی‌نهایت کوچک هستند و بعد ندارند. در این صورت یک ریسمان یک پوسته یک بعدی نامیده می‌شود، زیرا یک شیء یک بعدی است که با طولش تعیین می‌شود. پوسته همان پوسته دو بعدی است، درست مثل سطح زمین بسکتبال، که با طول و عرض تعیین می‌شود. (زمین بسکتبال می‌تواند در سه بعد شناور باشد ولی می‌توان گفت سطح آن دو بعدی است.) جهان ما می‌تواند به نوعی یک پوسته سه بعدی باشد؛ یک شیء سه بعدی که دارای طول و عرض و ارتفاع است. (اگر فضا دارای بعد باشد، که عددی صحیح است، آنگاه جهان ما یک پوسته بعدی خواهد بود. جدولی که تمام ابعاد پوسته‌ها را نشان می‌دهد جدول پوسته‌ها نامیده می‌شود.)

---

1. Brane

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

روش‌های متعددی برای فروشکستن یک پوسته به یک ریسمان وجود دارد. به‌جای لوله کردن بعد یازدهم، می‌توان ناحیه استوایی یک پوسته یازده بعدی را برش داده و روبان دایره‌ای شکلی ایجاد کنیم. هرچه بیشتر روبان دایره‌ای را باریک کنیم، در این‌صورت روبان به یک ریسمان ده بعدی تبدیل خواهد شد. پتر هوراوا و ادوارد ویتن نشان دادند با استفاده از این روش می‌توان ریسمان هتروتیک را تهیه کرد.

می‌توان نشان دادکه پنج روش مختلف وجود دارد که به کمک آن‌ها می‌توان نظریه M یازده بعدی را به ده بعد کاهش داده و به‌این‌ترتیب پنج نظریه مختلف ابرریسمانی را نتیجه گرفت. نظریه M، به این سوآل که چرا پنج نظریه مختلف برای ریسمان‌ها وجود دارد، پاسخی سریع و قابل فهم داده است. تصور کنید که بر قله کوه بلندی ایستاده‌اید و به دشت‌ها نگاه می‌کنید. از دیدگاه بعد سوم، بخش‌های مختلف به صورت یکپارچه در یک تصویر منسجم دیده می‌شوند. به‌همین ترتیب از دیدگاه بعد یازدهم، با نگاه کردن به بعد دهم، هر کدام از پنج نظریه ابرریسمانی را به صورت تکه‌های مختلف بعد یازدهم می‌بینیم.

دوگانی

اگرچه در آن زمان پاول تانسند نتوانست به اغلب سوآلاتی که از او پرسیدم پاسخ دهد، اما آنچه که در نهایت مرا نسبت به صحت این ایده متقاعد کرد، وجود تقارن قدرتمند دیگری بود. نظریه M نه فقط بزرگ‌ترین مجموعه از تقارن‌های شناخته شده در فیزیک را داراست، بلکه مسئله عجیب دیگری نیز در آن مشاهده می‌شود: دوگانی موجود در نظریه M این امکان را فراهم می‌آورد که تمام پنج نظریه اَبَرریسمان در یک نظریه ادغام شود.

الکتریسیته و مغناطیس را که بر طبق معادلات مکسول عمل می‌کنند، در نظر بگیرید. مدت‌ها پیش مشاهده شده بود که با جابجایی میدان مغناطیسی و الکتریکی، شکل معادلات تقریباً تغییری نمی‌کند. این تقارن را می‌توان با افزودن تک قطبی‌ها (قطب‌های تکی از مغناطیس) به معادلات مکسول کامل

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

کرد. در این صورت اگر در معادله به‌دست آمده مکسول، میدان الکتریکی را با میدان مغناطیسی و بار الکتریکی M را نیز با عکس بار مغناطیسی g جابجا کنیم، معادله دقیقاً بدون تغییر باقی خواهد ماند. یعنی الکتریسیته (اگر بار الکتریکی کم باشد)، دقیقاً با مغناطیس (اگر بار مغناطیسی زیاد باشد) یکسان است. این یکسان بودن را دوگانی می‌نامند.

در گذشته وجود چنین دوگانی را تنها به‌عنوان یک کنجکاوی علمی تعبیر می‌کردند، زیرا هیچ کس حتی امروز نیز یک تک قطبی مغناطیسی را ندیده است. با این حال، فیزیکدانان دریافتند که معادلات مکسول دارای تقارن نهفته‌ای هستند که طبیعت ظاهراً از آن استفاده‌ای نمی‌کند (حداقل در بخشی از جهان که ما در آن زندگی می‌کنیم).

به‌طور مشابه، تمام پنج نظریه ریسمان‌ها با یکدیگر دوگان هستند. نظریه نوع I و نظریه ریسمانی SO(32) هتروتیک را در نظر بگیرید. در حالت معمولی این دو نظریه حتی شبیه به‌هم نیز نیستند. نظریه نوع I بر اساس ریسمان‌های باز و بسته‌ای که به پنج روش مختلف برهم‌کنش دارند بنا شده است. از طرف دیگر، نظریه ریسمان SO(32) کاملاً براساس ریسمان‌های بسته بنا شده است، که تنها یک روش ممکن برای برهم‌کنش دارند (شبیه تقسیم سلولی). ریسمان نوع I در فضای ده بعدی به‌طور کامل تعریف می‌شود. درحالی‌که ریسمان SO(32)، از طریق مجموعه‌ای از ارتعاشات تعریف شده در فضای بیست و شش بعدی مشخص می‌شوند.

بنابراین همان‌طورکه مشاهده می‌شود نمی‌توان دو نظریه را یافت که اینقدر به‌هم بی‌شباهت باشند. با این حال، درست مشابه الکترومغناطیس، این نظریه‌ها دارای دوگانی قدرتمندی هستند: با افزایش قدرت برهم‌کنش‌ها، به‌طور جادویی ریسمان‌های نوع I به ریسمان‌های SO(32) تبدیل می‌شوند. (این نتیجه چنان غیر منتظره است که زمانی که اولین‌بار آن را دیدم سر خود را به نشانه بُهت تکان دادم. در فیزیک به ندرت دو نظریه را می‌بینیم که از تمام جهات کاملاً متفاوت به‌نظر برسند و نشان داده شود که از نظر ریاضی با هم معادلند.)

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

لیزا رَندال

شاید بتوان گفت بزرگ‌ترین مزیتی که نظریه M نسبت به نظریه ریسمان‌ها دارد این است که در این نظریه، ابعاد بالاتر به‌جای اینکه بسیار کوچک باشند، در واقع می‌توانند کاملاً بزرگ بوده و در آزمایشگاه قابل مشاهده باشند. در نظریه ریسمان‌ها شش تا از ابعاد بالاتر باید به یک توپ کوچک، یعنی یک چند لایه‌ی Calabi-Yau، جمع شده و البته برای اینکه با ابزار امروزی قابل مشاهده باشند بسیار کوچکند. این شش بعد، همگی فشرده شده‌اند و بنابراین ورود به بعد بالاتر غیرممکن است. این مسئله کسانی را که امیدوار بودند روزی بتوانند، به‌جای صرفاً استفاده از کرمچاله‌ها برای عبور از درون فرافضای فشرده، به درون یک اَبَرفضای متناهی صعود کنند، مایوس ساخت.

علاوه براین نظریه M از پوسته‌ها استفاده می‌کند؛ یعنی می‌توان کل جهان ما را به صورت پوسته‌ای درنظر گرفت که در جهانی بسیار بزرگ‌تر شناور است. در نتیجه لازم نیست که تمام ابعاد بالاتر در یک توپ جمع شوند. در حقیقت اندازه برخی از آن‌ها می‌تواند بزرگ و بی‌نهایت باشد.

لیزا رَندال از هاروارد، فیزیکدانی بود که تلاش کرد تا از این تصویر جدید جهان بهره برداری کند. رَندال، شبیه به جودی فاستر هنرپیشه، به‌نظر می‌رسید در حرفه فیزیک نظری که سخت رقابتی، برانگیخته از تستوسترون و شدیداً مردانه است، جایی نداشته باشد. او این ایده را دنبال می‌کرد که اگر جهان واقعاً در فضای ابعاد بالاتر شناور باشد، شاید به کمک این مسئله بتوان توضیح داد که چرا گرانش تا به این حد از سه نیروی دیگر ضعیف‌تر است.

رندال در کوئینز نیویورک بزرگ شده بود (شهری که با نام آرچی بانکر جاودانه شد). او عاشق ریاضیات بود و در دوران کودکی خود علاقه خاصی به فیزیک نشان نمی‌داد. اگرچه معتقدم که تمام ما در هنگام تولد کودکان دانشمندی هستیم، ولی متأسفانه همه ما در دوران بزرگسالی موفق به پیگیری علاقه خود به علم نمی‌شویم. یکی از دلائل این امر برخورد با دیوار ریاضیات است.

باید این واقعیت را پذیرفت که اگر قصد داشته باشیم کار خود را در زمینه

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

علم ادامه دهیم، عاقبت مجبوریم که «زبان طبیعت» را بیاموزیم؛ یعنی ریاضیات. بدون ریاضیات ما در حقیقت، به‌جای اینکه خود به رقص درآییم، تنها تماشاگران منفعل رقص طبیعت هستیم. آن‌طور که اینشتین یکبار گفته است، «ریاضیات محض، کلام موزونی از ایده‌های منطقی به روش خود است.» مثالی را مطرح می‌کنم. ممکن است کسی عاشق تمدن و ادبیات فرانسه باشد، اما برای اینکه به‌درستی تفکر فرانسوی را بفهمد باید زبان فرانسه و چگونگی صَرف افعال آن را بیاموزد. همین مسئله برای علم و ریاضیات نیز صادق است. گالیله یکبار نوشت: «[جهان] را نمی‌توان مورد مطالعه قرار داد، مگر اینکه زبان آن را بیاموزیم و با حروفی که با آن نوشته شده است آشنا شویم. جهان به زبان ریاضی نوشته شده است و حروف الفبای آن مثلث‌ها، دایره‌ها و دیگر اشکال هندسی هستند که بدون آن‌ها انسان حتی قادر به فهم یک کلمه نیز نخواهد بود.»

اما ریاضیدانان اغلب به این موضوع افتخار می‌کنند که غیرعملی‌ترین علم را دارند. هرچه ریاضیات انتزاعی‌تر و بلااستفاده‌تر، بهتر. در اوایل دهه ۱۹۸۰ رَندال که در هاروارد دانشجوی لیسانس بود، مسیر خود را تغییر داد. او مجذوب این ایده بود که فیزیک می‌تواند «مدل»هایی برای جهان ارائه دهد. زمانی که ما فیزیکدان‌ها در ابتدا یک نظریه جدید را مطرح می‌کنیم، تنها بر اساس دسته‌ای از معادلات نیست. نظریه‌های فیزیکی جدید اغلب بر اساس مدل‌های ساده شده و بهبود یافته‌ای هستند که یک پدیده را شبیه‌سازی می‌کنند. این مدل‌ها اغلب ترسیمی و تصویری بوده و فهمیدن آن‌ها آسان است. به‌عنوان مثال، مدل کوارک براساس این ایده بنا شده است که درون یک فوتون سه جزء تشکیل دهنده به نام کوارک قرار دارند. رَندال تحت تاثیر این موضوع قرار گرفت که مدل‌های ساده‌ای که براساس تصاویر فیزیکی تهیه می‌شوند، می‌توانند بخش قابل توجهی از جهان را توضیح دهند.

در دهه ۱۹۹۰، او به نظریه M و این احتمال که کل جهان یک پوسته باشد علاقه‌مند شد. سپس او تلاش خود را بر روی معمای حل نشده گرانش متمرکز کرد. نه نیوتون و نه اینشتین، هیچ‌کدام به این سوآل اساسی و در عین

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

حال اسرارآمیز پاسخ نداده بودند؛ درحالی‌که سه نیروی دیگر جهان (الکترومغناطیس، نیروی هسته‌ای ضعیف، و نیروی هسته‌ای قوی) تقریباً از نظر قدرت با هم برابرند، چرا گرانش کاملاً متفاوت است.

به‌طور خاص، جرم کوارک‌ها بسیار کوچک‌تر از جرم مربوط به گرانش کوانتومی است. رندال می‌گوید: «این اختلاف کم نیست؛ این دو جرم ۱۶ برابر با هم تفاوت دارند! احتمالاً تنها نظریه‌هایی که قادر به توضیح این نسبت بزرگ باشند، می‌توانند به‌عنوان زیرمجموعه‌هایی از مدل استاندارد مطرح شوند.»

این حقیقت که گرانش تا به این اندازه ضعیف است، این مسئله را که چرا ستارگان تا این اندازه بزرگ هستند، توضیح می‌دهد. کره زمین با اقیانوس‌ها، کوه‌ها، و قاره‌ها در مقایسه با ابعاد بزرگ خورشید چیزی جز یک نقطه کوچک نیست. ولی به‌دلیل اینکه گرانش بسیار ضعیف است، برای اینکه بتوانیم هیدروژن را آنقدر فشرده کنیم که بر نیروی دافعه الکتریکی پروتون غلبه کند، به جرمی برابر با جرم یک ستاره نیاز است. بنابراین ستارگان به این دلیل اینقدر بزرگ هستند که گرانش در مقایسه با نیروهای دیگر بسیار کوچک است.

هیجان ناشی از ظهور نظریه M در دنیای فیزیک، گروه‌های متعددی را بر این داشت تا در جهت اعمال این نظریه به جهان ما تلاش کنند. فرض کنید جهان ما یک پوسته سه بعدی شناور در یک جهان پنج بعدی باشد. این‌بار ارتعاشات روی سطح پوسته سه بعدی، به اتم‌هایی که در اطراف خود می‌بینیم مربوط می‌شوند. بنابراین چنین ارتعاشاتی هرگز پوسته سه بعدی را ترک نکرده و نمی‌توانند به بعد پنجم رانده شوند. با اینکه جهان ما در بعد پنجم شناور است، اتم‌های ما نمی‌توانند جهان را ترک کنند. زیرا آن‌ها نمایانگر ارتعاشات روی سطح پوسته سه بعدی هستند. این مسئله می‌تواند پاسخگوی سوآلی باشد که کالوزا و اینشتین در سال ۱۹۲۱ مطرح کرده بودند؛ بعد پنجم کجاست؟ پاسخ این است: ما در بعد پنجم شناور هستیم، ولی نمی‌توانیم به آن وارد شویم. زیرا بدن‌های ما به سطح یک پوسته سه

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

بعدی چسبیده‌اند.

اما این تصویر نیز خود دچار اشکالاتی است. گرانش بیانگر انحنای فضا است. بنابراین ممکن است انتظار داشته باشیم گرانش بتواند به‌جای اینکه تنها در پوسته سه بعدی‌وجود داشته باشد، تمام فضای پنج بعدی را اشغال کند. در این حالت، زمانی که نیروی گرانش از پوسته سه بعدی خارج شود، رقیق خواهد شد. این امر باعث تضعیف قدرت نیروی گرانش می‌شود. چنین تعبیری باعث تحکیم نظریه می‌شود، زیرا در عمل ما شاهد ضعف قدرت نیروی گرانش هستیم. اما از طرفی این تعبیر، گرانش را بیش از حد تضعیف می‌کند: با احتساب چنین فرضی، قانون عکس مجذور نیوتون به‌هم می‌ریزد، درحالی‌که قانون عکس مجذور برای سیارات، ستارگان و کهکشان‌ها به خوبی کار می‌کند. در هیچ کجای فضا برای گرانش به قانون عکس مکعب برخورد نمی‌کنیم. (چراغی را در نظر بگیرید که فضای اتاق را روشن می‌کند. نور به صورت کروی پخش می‌شود. قدرت نور در طول این کره‌ها، با دور شدن از مرکز، کم می‌شود. بنابراین اگر شعاع کره را دو برابر کنید، آنگاه همان مقدار نور در کره‌ای با مساحت چهار برابر پخش خواهد شد. به‌طور کلی اگر یک چراغ در فضای n بعدی داشته باشیم، قدرت نور آن متناسب با فاصله به توان $n-1$ کم می‌شود.)

به‌منظور پاسخ به این سوآل گروهی از فیزیکدانان شامل حامد ارکانی، اِس دیموپولوس، و جی دیوالی، پیشنهاد کردند که شاید بعد پنجم نامحدود نبوده و تنها یک میلی متر با ما فاصله دارد و درست مثل داستان علمی ـ تخیلی اچ جی ولز، بالای سر ما شناور است. (اگر فاصله بعد پنجم از ما بیشتر از یک میلیمتر باشد، آنگاه باید بتواند نسبت به قانون عکس مجذور نیوتون انحرافات قابل اندازه‌گیری ایجاد کند.) اگر بعد پنجم تنها یک میلیمتر از ما فاصله داشته باشد، می‌توان صحت این ادعا را از طریق جستجو برای یافتن انحرافات کوچک در قانون گرانش نیوتون، در فواصل خیلی کوچک، مورد آزمایش قرار داد. قانون گرانش نیوتون در فواصل کیهانی به خوبی عمل می‌کند، اما هرگز در ابعاد کوچک مثل یک میلیمتر مورد آزمایش قرار نگرفته

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

است. دانشمندان در حال حاضر به آزمایش برای یافتن انحرافات کوچک از قانون عکس مجذور نیوتون پرداخته‌اند. هم‌اکنون این مسئله موضوع آزمایش‌ها متعددی است که در حال اجرا هستند (در فصل ۹ به برخی از آن‌ها اشاره خواهیم کرد).

رَندال به‌همراه هم کلاسی خود، رامان ساندرام تصمیم گرفتند روش جدیدی را اتخاذ کنند. آن‌ها با استفاده از این روش مجدداً این احتمال را مورد بررسی قرار دادند که شاید بعد پنجم در فاصله یک میلیمتری ما قرار نگرفته ولی هم‌چنان نامحدود است. برای این‌کار آن‌ها باید توضیح می‌دادند که چگونه بعد پنجم می‌تواند بدون آسیب رساندن به قانون گرانش نیوتون نامحدود باشد. رَندال پاسخی برای این معما یافت. او دریافت که پوسته سه بعدی دارای کششی گرانشی است که از وارد شدن آزادانه گراویتون‌ها به بعد پنجم جلوگیری می‌کند. بنابراین گراویتون‌ها به‌دلیل گرانشی که پوسته سه بعدی اعمال می‌کند باید به آن چسبیده باشند. (مثل حشراتی که در کاغذ سمی مگس کش گیر افتاده باشند.) بنابراین با اندازه‌گیری درمی یابیم که قانون نیوتون در جهان ما تقریباً صحیح است. گرانش با ترک خوردن پوسته سه بعدی و ورود به بعد پنجم تضعیف می‌شود، ولی نه به‌مقدار خیلی زیاد؛ می‌توان گفت قانون عکس مجذور هنوز صادق است، زیرا گراویتون‌ها هنوز جذب پوسته سه بعدی می‌شوند. (رَندال همچنین احتمال وجود پوسته دومی را مطرح کرد که به صورت موازی با ما وجود دارد. اگر ما برهم‌کنش دقیق گرانش را در سرتاسر پوسته‌ها محاسبه کنیم، می‌توانیم از نظر عددی تضعیف گرانش را توضیح دهیم.)

رَندال می‌گوید: «زمانی که برای اولین‌بار پیشنهاد شد که ابعاد اضافی می‌توانند برای مسئله سلسله مراتب[1] راه حل‌های جایگزین ارائه دهند، هیجان زیادی به‌وجود آمد. در ابتدا ممکن است ابعاد فضایی اضافی ایده مضحکی به‌نظر آید، ولی دلایل قدرتمندی وجود دارند که نشان می‌دهند واقعاً ابعاد دیگری در فضا وجود دارند.»

1. Hierarchy Problem

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

اگر این ادعا صحت داشته باشد، آنگاه قدرت گرانش نیز به همان اندازه قدرت دیگر نیروها خواهد بود. اما به‌دلیل اینکه بخشی از گرانش به فضاهای با بعد بالاتر نشت می‌کند، قدرت آن تضعیف شده است. یکی از نتایج عمیق این نظریه این است که ممکن است برخلاف تصور قبلی، انرژی‌ای که در آن این اثرهای کوانتومی قابل اندازه‌گیری می‌شوند، برابر انرژی پلانک نباشد (10^{19} میلیارد الکترون ولت). شاید تنها با کمک تریلیون‌ها الکترون ولت بتوان این‌کار را انجام داد. در این صورت ممکن است با استفاده از برخورد دهنده بزرگ هادرون بتوان در این دهه آثار کوانتومی گرانش را به‌دست آورد. این مسئله باعث شد که فیزیکدانان تجربی، در ورای مدل استاندارد ذرات زیراتمی، به شکار ذرات نادر روی آورند. شاید آثار کوانتومی گرانش درست در مقابل ما قرار داشته باشند.

از طرف دیگر، همچنین پوسته‌ها برای معمای ماده تاریک پاسخ قابل قبول، ولی در عین حال ذهنی را فراهم می‌آورند. در رمان مرد نامرئی، نوشته اچ جی ولز، قهرمان داستان با شناور شدن در بعد چهارم، از نظرها پنهان می‌گشت. به‌طور مشابه تصور کنید که دنیای موازی وجود دارد که بالای سر دنیای ما شناور است. هر کهکشانی که در آن دنیای موازی باشد، از نظر ما نامرئی است. اما از آنجا که گرانش از طریق خم شدن فرافضا به‌وجود می‌آید، می‌تواند بر جهان‌های دیگر تاثیر کند. یک کهکشان بزرگ در آن جهان، از طریق فرافضا به کهکشانی در دنیای ما جذب می‌شود. بنابراین زمانی که مشخصات کهکشان‌های خود را اندازه می‌گیریم، می‌بینیم که کشش گرانشی آن‌ها بیش‌تر از آن است که قانون نیوتون پیش‌بینی می‌کند. زیرا کهکشان دیگری درست پشت آن مخفی شده و در پوسته نزدیکی شناور است. این کهکشان مخفی که در پشت کهکشان ما قرار گرفته است، کاملاً نامرئی است و در بعد دیگری شناور است، اما در جهان ما به صورت یک هاله در اطراف کهکشان ما اثر می‌کند که شامل ۹۰ درصد کل جرم است. به‌این‌ترتیب ماده تاریک را می‌توان به صورت حضور یک جهان موازی تعبیر کرد.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

جهان‌های برخوردکننده

شاید تصور کنید هنوز زمان آن نرسیده است که بتوان نظریه M را به‌طور جدی به حیطه کیهان‌شناسی وارد کرد. با این وجود فیزیکدانان تلاش کرده‌اند به‌منظور ایجاد تغییری جدید در شیوه معمول تورمی جهان، از «فیزیک پوسته‌ها» استفاده کنند. در همین راستا سه فلسفه مختلف کیهان‌شناسی مورد توجه واقع شده‌اند.

اولین فلسفه کیهان‌شناسی سعی دارد به این سوآل پاسخ دهد: چرا ما در فضا-زمان چهار بعدی زندگی می‌کنیم؟ در اصل، نظریه M را می‌توان در تمام ابعاد، تا یازده بعد فرمول بندی کرد. بنابراین انتخاب چهار بعد، خود سوآل برانگیز است. رابرت بِرَندِنبِرگِر و کامران وفا، تصور کردند که شاید این به‌دلیل هندسه خاص ریسمان‌ها باشد.

در سناریوی آن‌ها، جهان در تقارن کامل شروع شده و تمام ابعاد بالاتر در مقیاس پلانک لوله شده‌اند. آنچه که جهان را از انبساط بازداشته حلقه‌هایی از ریسمان‌ها بوده که به دور ابعاد مختلف محکم حلقه شده اند. فنر فشرده‌ای را در نظر بگیرید که به‌دلیل اینکه به‌وسیله ریسمان‌ها محکم بسته شده است نمی‌تواند باز شود. اگر بهر ترتیبی ریسمان‌ها پاره شوند، فنر ناگهان آزاد شده و انبساط می‌یابد.

در این ابعاد کوچک، به‌دلیل وجود پیچه‌هایی از هر دو ریسمان و ضدریسمان، جهان از انبساط بازداشته می‌شود (جهت پیچش ضد ریسمان‌ها در خلاف جهت ریسمان‌ها است). اگر یک ریسمان و یک ضدریسمان با هم برخورد کنند، آنگاه می‌توانند یکدیگر را خنثی کرده و از بین بروند؛ درست مثل از هم باز شدن یک گره. در ابعاد بسیار بزرگ، آنقدر فضا گسترده است که ریسمان‌ها و ضد ریسمان‌ها به ندرت با یکدیگر برخورد کرده و هرگز از هم باز نمی‌شوند. برندنبرگر و وفا نشان دادند که در ابعاد فضایی سه یا کم‌تر، احتمال بیشتری وجود دارد که ریسمان‌ها و ضد ریسمان‌ها با یکدیگر برخورد کنند. هربار که این تصادم رخ دهد، ریسمان‌ها از هم باز شده و ابعاد مختلف به بیرون می‌جهند، و در نتیجه انفجار بزرگ رخ می‌دهد. ویژگی جالب توجه

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

این سناریو این است که با استفاده از توپولوژی ریسمان‌ها می‌توان به‌طور تقریبی توضیح داد که چرا ما در اطراف خود، این فضا-زمان چهار بعدی آشنا را می‌بینیم. با اینکه جهان‌های با ابعاد بالاتر، محتمل هستند اما احتمال کمی وجود دارد که شاهد وجود آن‌ها باشیم، زیرا هنوز به‌وسیله ریسمان‌ها و ضد ریسمان‌ها به سختی بسته و محکم شده‌اند.

اما در نظریه M احتمالات دیگری نیز وجود دارند. اگر جهان‌ها بتوانند یکدیگر را دربر بگیرند یا از درون هم جوانه زده و به‌این‌ترتیب جهان‌های جدیدی را تولید کنند، آنگاه شاید عکس آن نیز بتواند رخ دهد؛ جهان‌ها با یکدیگر برخورد کرده، جرقه زده و جهان‌های جدید تولید کنند. در چنین سناریویی شاید انفجار بزرگ به‌جای اینکه از درون یک جهان جوانه بزند، به‌دلیل برخورد دو جهان پوسته‌ای موازی رخ دهد.

پل استینهارت از پرینستون، برت اورت از دانشگاه پنسیلوانیا و نیل توروک از دانشگاه کمبریج به‌همراه هم نظریه دوم را مطرح کردند. آن‌ها جهان اکپیروتیک (در زبان یونانی به معنی آتش‌سوزی) را مطرح کردند تا بتوانند ویژگی‌های جدید تصویر پوسته M بُعدی را به‌کار گیرند. در چنین تصویری برخی از ابعاد می‌توانند بزرگ و حتی از نظر اندازه نامتناهی باشند. آن‌ها دو پوسته سه بعدی هموار، همگن و موازی را درنظر گرفتند که بیانگر پایین‌ترین حالت انرژی هستند. در ابتدا آن‌ها به صورت جهان‌های موازی و سرد بوده ولی گرانش به‌تدریج آن‌ها را به سمت هم می‌کشاند. سرانجام آن‌ها با یکدیگر برخورد می‌کنند و انرژی جنبشی عظیم ناشی از برخورد آن‌ها به تابش ماده‌ای تبدیل می‌شود که جهان ما را می‌سازند. برخی ترجیح می‌دهند که به‌جای نظریه انفجار بزرگ به این نظریه برخورد بزرگ بگویند؛ زیرا در این حالت مسئله مربوط می‌شود به برخورد دو پوسته.

نیروی ناشی از برخورد، دو جهان را از هم دور می‌کند. وقتی این دو پوسته از یکدیگر دور می‌شوند، به سرعت خنک شده، و جهانی را که امروز می‌بینیم ایجاد می‌کنند. این خنک شدن و انبساط برای تریلیون‌ها سال ادامه داشته، تا زمانی که دمای جهان‌ها به صفر مطلق نزدیک می‌شود و چگالی

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

ماده به تنها یک الکترون در کادریلیون سال نوری مکعب می‌رسد. در نتیجه جهان خالی و راکد می‌گردد. اما گرانش به‌کار خود برای جذب دو پوسته ادامه می‌دهد، تا اینکه تریلیون‌ها سال بعد، آن‌ها بار دیگر با یکدیگر برخورد کرده و این چرخه دوباره تکرار می‌شود.

این سناریوی جدید قادر است نتایج خوب ناشی از تورم (تختی وهمواری) را نتیجه دهد. همچنین قادر است به این پرسش پاسخ دهد که چرا جهان تخت است. دلیل این امر این است که دو پوسته در اصل تخت بوده‌اند. این مدل همچنین می‌تواند معمای افق را نیز حل کند. اینکه چرا جهان در تمام جهات تا به این اندازه هموار است. زیرا در این حالت پوسته مدت زمان زیادی دارد تا به آهستگی به حالت پایدار برسد. تورم معمای افق را به این صورت که جهان ناگهان متورم شده است توجیه می‌کند، ولی این سناریو به این معما به روش کاملاً مخالفی پاسخ می‌دهد؛ اینکه جهان با حرکت آهسته به وضعیت پایدار رسیده است.

(این یعنی احتمالاً پوسته‌های دیگری نیز در فرافضا شناور هستند که ممکن است در آینده با ما برخورد کرده و برخورد بزرگ دیگری را ایجاد کنند. با دانستن این موضوع که سرعت جهان ما رو به افزایش است، احتمال برخورد دیگری وجود دارد. استینهارت می‌افزاید: «شاید سرعت گرفتن انبساط جهان مقدمه چنین برخوردی باشد. این فکر خوشایندی نیست.»)

هر سناریویی که تصویر متداول تورم را به‌طور برجسته به چالش بکشد، عکس‌العمل‌های غضبناکی را در پی خواهد داشت. در حقیقت در عرض یک هفته پس از انتشار مقاله در اینترنت، آندری لیند و همسرش، رناتا کالوش (که خود نظریه‌پردازی ریسمانی است) و لِف کوفمَن، از دانشگاه تورنتو مقاله‌ای انتقادی بر علیه این سناریو منتشر کردند. لیند، به این دلیل که هر چیز فاجعه‌آمیز، مثل برخورد دو جهان، ممکن است تکینگی ایجاد کرده و چگالی به بی‌نهایت نزدیک شود، این مدل را مورد انتقاد قرار داد. لیند گفته است: «درست مثل این است که یک صندلی را به درون سیاهچاله پرتاب کنیم، که منجر به بخار شدن ذرات صندلی می‌شود، و آنگاه بگوییم که شکل صندلی

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

به نوعی حفظ شده است.»

استینهارت می‌گوید: «چیزی که در چهار بعد شبیه به یک تکینگی به‌نظر می‌رسد، ممکن است در پنج بعد اینگونه نباشد.... وقتی پوسته‌ها با یکدیگر برخورد می‌کنند، بعد پنجم موقتاً ناپدید می‌شود، ولی خود پوسته‌ها ناپدید نمی‌شوند. بنابراین چگالی و دما به سمت بی‌نهایت نرفته و زمان به مسیر خود ادامه می‌دهد. اگرچه در این حالت نسبیت عام نقض می‌شود، ولی برای نظریه ریسمان‌ها اینگونه نخواهد بود. و آنچه که زمانی در مدل ما یک فاجعه محسوب می‌شد، هم‌اکنون کنترل پذیر به‌نظر می‌رسد.»

قدرت نظریه M در حذف کردن تکینگی‌ها، به استینهارت کمک می‌کرد. در حقیقت همین مسئله است که باعث می‌شود فیزیکدانان نظری برای شروع به یک نظریه کوانتومی گرانشی نیاز داشته باشند تا بتوانند تمام بی‌نهایت‌ها را حذف کنند. با این وجود، لیند به یک آسیب‌پذیری مفهومی در این تصویر اشاره می‌کند مبنی بر اینکه پوسته‌ها در ابتدا در یک حالت تخت و هموار وجود دارند. لیند می‌گوید: «اگر با کمال آغاز کنید، شاید بتوانید آنچه را که می‌بینید توضیح دهید.... اما هنوز این پرسش باقی می‌ماند: چرا جهان باید در کمال آغاز به‌کار کرده باشد؟» استینهارت در پاسخ می‌گوید: «تخت به‌علاوه تخت، برابراست با تخت.» به بیان دیگر مجبورید فرض کنید که پوسته‌ها در پایین‌ترین حالت انرژی یعنی تخت بودن آغاز شده‌اند.

آلن گوث ذهن خود را باز نگه داشته است. او می‌گوید: «گمان نمی‌کنم که پل و نیل موفق به اثبات ادعای خود شوند. ولی مطمئناً ایده آن‌ها ارزش تامل را دارد.» او جریان را تغییر داده و نظریه‌پردازان ریسمانی را برای توضیح تورم به مبارزه می‌طلبد: «گمان می‌کنم که این مسئله غیرقابل گریز است که نظریه ریسمانی و نظریه M مجبورند با نظریه تورم پیوند بخورند، زیرا به‌نظر می‌رسد که تورم راه حلی واضح برای مشکلاتی است که به آن‌ها پاسخ می‌گوید، اینکه چرا جهان تا این اندازه تخت و هموار است؟» بنابراین او می‌پرسد: آیا نظریه M می‌تواند تصویر استاندارد تورم را نتیجه دهد؟

درآخر، نظریه رقیب دیگری وجود دارد که از نظریه ریسمانی کمک

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

می‌گیرد؛ نظریه «پیش از انفجار بزرگ» گابریل ونتزیانو؛ کسی که در سال ۱۹۶۸ به شروع نظریه ریسمانی کمک کرد. اگر بخواهیم بدانیم که درون یک سیاهچاله شبیه چیست، تنها کاری که باید انجام دهیم این است که به بیرون بنگریم.

در این نظریه عمر جهان در حقیقت بسیار زیاد بوده و در گذشته دور به صورت تقریباً تهی و سرد آغاز به‌کار کرده است. گرانش توده‌هایی از ماده را در سراسر جهان ایجاد کرده و به مرور زمان در برخی نواحی چنان متمرکز شده که به سیاهچاله تبدیل شده‌اند. افق‌های رویداد در اطراف سیاهچاله‌ها شکل گرفته که به‌این‌ترتیب برای همیشه بخش خارجی افق رویداد از بخش داخلی آن جدا شده است. درون افق رویداد، ماده از طریق گرانش به فشرده شدن ادامه داده تا اینکه سیاهچاله در نهایت به طول پلانک می‌رسد.

در این نقطه، نظریه ریسمانی جانشین می‌شود. طول پلانک حداقل فاصله مجاز در نظریه ریسمانی است. سیاهچاله در انفجاری بزرگ شروع به بازگشت به حالت اولیه می‌نماید. از آنجا که این فرایند ممکن است خود را در سرتاسر جهان تکرار کند، این امکان وجود دارد که سیاهچاله‌ها/جهان‌های دیگر در دوردست‌ها وجود داشته باشند.

(به‌نظر می‌رسد بعید نیست که جهان ما یک سیاهچاله باشد. تصور حسی ما این است که یک سیاهچاله باید شدیداً چگال باشد، با یک میدان گرانش عظیم و خرد کننده. اما همیشه اینطور نیست. ابعاد افق رویداد یک سیاهچاله با جرم آن متناسب است. هرچقدر که سیاهچاله جرم بیشتری داشته باشد، افق رویداد آن بزرگ‌تر است. اما در عین حال افق رویداد بزرگ‌تر نشاندهنده این است که جرم در حجم بزرگ‌تری گسترده شده است؛ در نتیجه با افزایش جرم، چگالی کاهش می‌یابد. در حقیقت اگر سیاهچاله‌ای به جرم جهان ما وجود می‌داشت، سایز آن تقریباً برابر با سایز جهان ما بوده و چگالی آن نیز مشابه جهان ما کم می‌بود.

با این حال برخی اخترفیزیکدانان با به‌کارگیری نظریه ریسمانی و نظریه M در کیهان‌شناسی موافق نیستند. جوئل پریماک از دانشگاه کالیفرنیا در

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

سانتاکروز، از بقیه سختگیرتر است؛ «ایده‌های موجود در این مقالات لزوماً ناپایدار هستند.» تنها زمان می‌تواند تعیین کند که پریماک درست گفته است یا نه. اما از آنجا که حرکت نظریه ریسمان‌ها سرعت گرفته است، احتمالاً به‌زودی شاهد تحلیل‌های جدیدی برای حل این معما خواهیم بود، تحلیل‌هایی که به احتمال زیاد براساس داده‌هایی هستند که از ماهواره‌های فضایی به‌دست می‌آیند. همان‌طور که در فصل ۹ خواهیم دید، در سال ۲۰۲۰، نسل جدیدی از آشکارسازهای امواج گرانشی، مثل لیزا، به فضا فرستاده خواهند شد و به ما این امکان را می‌دهند که برخی از این نظریه‌ها را مورد بازبینی قرار داده یا حتی رد کنیم. به‌عنوان مثال اگر نظریه تورم درست باشد، لیزا باید بتواند امواج گرانشی شدیدی را آشکار کند که از طریق فرایند تورم ابتدایی ایجاد شده‌اند. از طرف دیگر، در جهان اکپیروتیک بین جهان‌ها برخوردهای آهسته‌ای به‌وجود آمده و در نتیجه امواج گرانشی بسیار ملایم‌تر خواهند بود. لیزا باید بتواند یکی از این نظریه‌ها را از راه تجربه رد کند. به بیان دیگر امواج گرانشی ایجاد شده از طریق انفجار بزرگ اولیه، حاوی داده‌های رمزگذاری شده‌ای هستند که می‌توانند صحت یکی از این نظریات را تائید کنند. ممکن است لیزا برای اولین‌بار بتواند نتایج تجربی محکمی را در تائید تورم، یا نظریه ریسمان‌ها و نظریه M ارائه کند.

سیاهچاله‌های کوچک

از آنجا که نظریه ریسمان‌ها واقعاً نظریه‌ای برای کل جهان است، برای آزمایش کردن آن لازم است که جهانی را در آزمایشگاه ایجاد کنیم (به فصل ۹ مراجعه کنید). به‌طور معمول انتظار داریم که اثرات کوانتومی ناشی از گرانش، در انرژی پلانک رخ دهند، که کادریلیون بار قوی‌تر از انرژی موجود در قوی‌ترین شتاب‌دهنده‌های ذره‌ای ماست. به‌این‌ترتیب آزمایش مستقیم نظریه ریسمان‌ها غیرممکن به‌نظر می‌رسد. اما اگر واقعاً جهانی موازی در کم‌تر از یک میلی متری جهان ما وجود داشته باشد، آنگاه انرژی‌ای‌که در آن یکپارچه‌سازی و اثرات کوانتومی رخ می‌دهند، می‌تواند بسیار کوچک بوده و

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

بنابراین در توان نسل بعدی شتاب‌دهنده‌های ذره، مثل برخورد دهنده بزرگ هادرون باشد. این مسئله منجر به جاری شدن سیلی از توجه و علاقه به سمت فیزیک سیاهچاله‌ها و متعاقب آن هیجان‌انگیزترین چیز به نام سیاهچاله کوچک گردید. سیاهچاله‌های کوچک که رفتار آن‌ها مشابه ذرات زیراتمی است، در حقیقت آزمایشگاهی هستند که در آن می‌توان برخی از پیش‌بینی‌های نظریه ریسمان‌ها را مورد آزمایش قرار داد. فیزیکدانان احتمال می‌دهند بتوانند چنین اجرامی را در برخورد دهنده بزرگ هادرون بسازند. (سیاهچاله‌های کوچک، در ابعاد تنها یک الکترون، چنان کوچک هستند، که به‌هیچ‌وجه تهدیدی برای زمین محسوب نمی‌شوند. به‌طور معمول پرتوهای کیهانی با انرژی‌هایی بیشتر از این سیاهچاله‌های کوچک با کره زمین برخورد می‌کنند، بدون آنکه اثر مخربی بر روی سیاره ما بگذارند.)

ایده انقلابی تغییر شکل یک سیاهچاله به صورت یک ذره زیراتمی، ایده‌ای قدیمی است که اولین‌بار در سال ۱۹۳۵ به‌وسیله اینشتین مطرح شد. در تصویری که اینشتین به نمایش می‌گذارد باید بتوان در یک نظریه میدان یکپارچه، ماده را، که از ذرات زیراتمی تشکیل شده است، به نوعی به صورت اعوجاجات موجود در بافت فضا-زمان نشان داد. از نظر او ذرات زیراتمی مثل الکترون در حقیقت «پیچ خوردگی‌ها» یا کرمچاله‌هایی در فضای منحنی هستند که از دور شبیه به ذره به‌نظر می‌آیند. اینشتین و ناتان روزن خود را با این ایده که یک الکترون ممکن است در حقیقت یک سیاهچاله کوچک استتار شده باشد، مشغول کردند. به‌این‌ترتیب، اینشتین سعی کرد که ماده را در این نظریه میدان یکپارچه شرکت داده و به‌این‌ترتیب ذرات زیراتمی را به هندسه محض تقلیل دهد.

سیاهچاله‌های کوچک یکبار دیگر به‌وسیله استیون هوکینگ معرفی شدند؛ کسی که ثابت کرد سیاهچاله‌ها باید تبخیر شده و تابش انرژی ضعیفی را از خود منتشر کنند. در طول قرن‌های متمادی، یک سیاهچاله چنان انرژی زیادی منتشر می‌کند که به مرور زمان کوچک شده و در نهایت به ابعاد یک ذره زیراتمی بدل می‌شود. نظریه ریسمان‌ها در حال حاضر مفهوم سیاهچاله‌های کوچک را مجدداً

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

مطرح کرده است. بیاد آورید که سیاهچاله‌ها زمانی شکل می‌گیرند که مقدار زیادی ماده تا اندازه قطر شوارتسشیلد فشرده شود. از آنجا که ماده و انرژی می‌توانند به یکدیگر تبدیل شوند، بنابراین سیاهچاله‌ها می‌توانند از فشرده شدن انرژی نیز حاصل آیند. در حال حاضر دانشمندان در پی یافتن سیاهچاله‌های کوچک در باقی‌مانده‌های برخورد دو پروتون با انرژی ۱۴ تریلیون الکترون ولت در برخورد دهنده بزرگ هادرون هستند. این سیاهچاله‌ها دارای‌وزنی تنها هزار برابر جرم الکترون بوده و طول عمر آن‌ها تنها $۱۰^{-۲۳}$ ثانیه است. اما آن‌ها در بین مسیرهای ذرات زیراتمی که به‌وسیله برخورد دهنده بزرگ هادرون تولید می‌شوند، باید به وضوح قابل رؤیت باشند.

همچنین فیزیکدانان امید دارند که پرتوهای کیهانی که از فضا به سمت ما می‌آیند حاوی سیاهچاله‌های کوچک باشند. رصدخانه پرتوهای کیهانی پیِر اوژه در آرژانتین چنان حساس است که می‌تواند برخی از بزرگ‌ترین انفجارات پرتوهای کیهانی را که تاکنون به‌وسیله علم ثبت شده‌اند، آشکار کند. امید می‌رود که سیاهچاله‌های کوچک را بتوان به‌طور طبیعی در بین پرتوهای کیهانی که منجر به تشعشع رگباری مخصوصی حین برخورد به اتمسفر بالایی زمین می‌شوند، یافت. طبق محاسبه می‌توان نشان داد آشکارساز پرتو کیهانی اوژه ممکن است بتواند در هر سال تا ۱۰ بارش پرتو کیهانی را که از طریق یک سیاهچاله کوچک تحریک شده باشند، مشاهده کند.

شاید در همین دهه، با یافتن یک سیاهچاله کوچک در برخورد دهنده بزرگ هادرون در سویس یا آشکارساز پرتو کیهانی اوژه در آرژانتین، بتوان شواهد قابل قبولی برای وجود جهان‌های موازی ارائه کرد. اگرچه این مسئله قطعاً نمی‌تواند صحت نظریه ریسمانی را ثابت کند ولی می‌تواند کل جامعه فیزیک را متقاعد سازد که نظریه ریسمانی با تمام نتایج تجربی سازگار بوده و در مسیر صحیح قرار دارد.

سیاهچاله‌ها و پارادوکس اطلاعات

نظریه ریسمان‌ها ممکن است پرده از راز عمیق‌ترین پارادوکس‌های فیزیک

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

سیاهچاله‌ها بردارد، مثل پارادوکس اطلاعات. اگر به خاطر بیاورید سیاهچاله‌ها کاملاً سیاه نیستند بلکه از طریق پدیده تونل زنی مقادیر کمی تابش از خود متصاعد می‌کنند. برطبق نظریه کوانتوم همواره شانس کوچکی وجود دارد که تابش بتواند از چنگ گرانش سیاهچاله فرار کند. به این نشت آهسته از یک سیاهچاله، تابش هوکینگ[1] می‌گویند.

این تابش به نوبه خود، دارای دمایی اختصاصی است (که با مساحت افق رویداد یک سیاهچاله متناسب است). هوکینگ نسخه‌ای کلی از این معادله ارائه داد که با اقبال زیادی مواجه شد. به‌هرحال یک نسخه دقیق از این نتیجه نیاز به استفاده از قدرت کامل مکانیک آماری دارد (براساس شمارش حالات کوانتومی سیاهچاله‌ها). اغلب محاسبات مکانیکی آماری از طریق شمارش تعداد حالاتی که یک اتم یا مولکول می‌تواند داشته باشد، صورت می‌گیرد. اما چگونه می‌توان حالات کوانتومی یک سیاهچاله را شمارش کرد؟ در نظریه اینشتین، سیاهچاله‌ها کاملاً آرام هستند، بنابراین شمردن حالات کوانتومی آن‌ها بسیار مشکل خواهد بود.

نظریه‌پردازان ریسمانی مشتاق بودند تا این فاصله را از بین ببرند. بنابراین آندرو استرومینگر و کامران وفا از هاروارد تصمیم گرفتند با استفاده از نظریه M یک سیاهچاله را مورد تحلیل و بررسی قرار دهند. از آنجا که کار با سیاهچاله به خودی خود سخت بود، آن‌ها مسیر دیگری را در پیش گرفتند و پرسش هوشمندانه‌ای را مطرح ساختند: دوگان یک سیاهچاله چیست؟ (به خاطر دارید که یک الکترون، دوگان یک تک قطبی مغناطیسی است. بنابراین تنها با آزمایش کردن یک الکترون در یک میدان الکتریکی ضعیف، که کار ساده‌ای است، می‌توانیم آزمایش بسیار مشکل‌تری را بررسی کنیم: یعنی یک تک قطبی که در میدان مغناطیسی بسیار بزرگی قرار گرفته است.) انتظار می‌رفت که تحلیل و بررسی دوگان یک سیاهچاله از خود سیاهچاله آسان‌تر باشد، اگرچه در نهایت هر دو نتایج یکسانی را حاصل می‌کنند. استرومینگر و وفا با انجام مجموعه‌ای از عملیات ریاضی، توانستند نشان دهند که

1. Hawking radiation

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

سیاهچاله‌ها دوگان مجموعه‌ای از پوسته‌های یک بعدی و پنج بعدی هستند. این مسئله دانشمندان را آسوده خاطر ساخت زیرا نحوه شمارش حالات کوانتومی این پوسته‌ها از قبل شناخته شده بود. زمانی که استرومینگر و وفا حالات کوانتومی را محاسبه کردند، دریافتند که پاسخ به‌دست آمده به دقت نتایج هوکینگ را مجدداً استخراج می‌کند.

این خبری خوشایند بود. نظریه ریسمان‌ها، همان چیزی که برخی مواقع به‌دلیل عدم ارتباط با دنیای واقعی مورد تمسخر واقع می‌شود، شاید بتواند زیباترین راه حل را برای ترمودینامیک سیاهچاله‌ها ارائه دهد.

در حال حاضر نظریه‌پردازان ریسمانی تلاش می‌کنند تا با سخت‌ترین مشکل در فیزیک سیاهچاله‌ها دست و پنجه نرم کنند، یعنی: «پارادوکس اطلاعات.» هوکینگ معتقد است اگر چیزی را به‌درون یک سیاهچاله پرتاب کنیم، اطلاعاتی که با خود حمل می‌کند، برای همیشه از دست می‌روند و هرگز باز نمی‌گردند. (این روش هوشمندانه‌ای برای ارتکاب جرم است. یک مجرم می‌تواند از یک سیاهچاله برای از بین بردن تمام مدارک جرم استفاده کند.) تنها پارامترهایی را که می‌توان از راه دور از یک سیاهچاله اندازه گرفت، جرم، اسپین و بار آن هستند. اینکه چه چیزی را به‌درون سیاهچاله پرتاب می‌کنیم مهم نیست، به‌هرحال تمام اطلاعات مربوط به آن را از دست خواهیم داد. (این مسئله با این جمله بیان می‌شود که «سیاهچاله‌ها مو ندارند»، یعنی تمام اطلاعات را از دست داده‌اند، تمام موها، بجز اطلاعات مربوط به این سه پارامتر.)

به‌نظر می‌رسد از بین رفتن اطلاعات جهان ما، پیامد اجتناب ناپذیر نظریه اینشتین باشد. اما از طرفی این مسئله با اصول مکانیک کوانتومی که بیان می‌دارند اطلاعات هرگز نمی‌توانند گم شوند، در تناقض است. اطلاعات باید جایی در جهان ما شناور باشند، حتی اگر خود جسم به درون یک سیاهچاله فرو رفته باشد.

هوکینگ نوشته است: «اغلب فیزیکدانان تمایل دارند باور کنند که اطلاعات از بین نرفته‌اند. زیرا این باور جهان را امن و قابل پیش‌بینی می‌کند.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

اما من عقیده دارم اگر نسبیت عام اینشتین را جدی بگیریم، باید این احتمال را در نظر بگیریم که فضا ـ زمان خود را در گره‌هایی مقید کرده و اینکه اطلاعات در پیچ و تاب‌ها گم شوند. امروزه تعیین اینکه آیا اطلاعات واقعاً گم می‌شوند یا نه، یکی از پرسش‌های اصلی فیزیک نظری است.»

این پارادوکس که هوکینگ را در مقابل اغلب نظریه‌پردازان ریسمانی قرار می‌دهد، هنوز حل نشده است. اما نظریه‌پردازان ریسمانی ادعا می‌کنند که بالاخره خواهند فهمید که اطلاعات گم شده کجا رفته‌اند. (به‌عنوان مثال، اگر یک کتاب را به‌درون سیاهچاله‌ای پرتاب کنیم، می‌توان تصور کرد که اطلاعات درون کتاب، در فرم نوسانات کوچکی که در تابش هوکینگ یک سیاهچاله تبخیرشونده وجود دارند، به‌تدریج به‌درون جهان ما رسوخ می‌کنند. یا شاید این اطلاعات از درون یک سفید چاله در طرف دیگر سیاهچاله مجدداً بیرون بیایند.) به‌همین دلیل است که من شخصاً احساس می‌کنم زمانی که پرده از این راز برداشته شود، در می‌یابیم که اطلاعات در حقیقت گم نشده‌اند، بلکه زیرکانه در جای دیگری مجدداً ظاهر می‌شوند.

سرمقاله نیویورک تایمز در سال ۲۰۰۴، به استیون هوکینگ اختصاص یافت. او در مقابل دوربین‌های تلویزیونی اعلام کرد که در مورد پارادوکس اطلاعات اشتباه کرده است. (سی سال قبل او با دیگر فیزیکدانان شرط بسته بود که اطلاعات هرگز نمی‌توانند از یک سیاهچاله به بیرون نشت کنند. بازنده این شرط‌بندی موظف به تهیه دائرةالمعارفی بود که اطلاعات آن به‌راحتی قابل اصلاح و بازیابی باشند.) او با انجام مجدد برخی از محاسبات پیشین خود دریافت که اگر یک شیء مثلاً یک کتاب به‌درون سیاهچاله بیفتد، ممکن است میدان تابش منتشر شده را مختل سازد، و به‌این‌ترتیب اطلاعات به جهان ما بازگردند. اطلاعات کتاب، درون تابش کدگذاری شده و به شکلی پاره پاره به آهستگی به بیرون سیاهچاله نشت می‌کنند.

این مسئله هوکینگ را در گروه فیزیکدانان کوانتومی قرار داد؛ کسانی که عقیده دارند اطلاعات نمی‌تواند گم شود. اما به‌علاوه این سوآل مطرح شد: آیا اطلاعات می‌توانند به یک جهان موازی انتقال یابند؟ در ظاهر به‌نظر

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

می‌رسید که نتیجه او، این ایده را که اطلاعات ممکن است از طریق یک کرمچاله به یک جهان موازی انتقال یابند، دچار شبهه کند. با این حال هیچ کس عقیده ندارد که او در این باره حرف آخر را زده است. تا زمانی که نظریه ریسمان‌ها کامل نشده است و محاسبات کامل گرانش کوانتومی انجام نگرفته است، هیچ کس باور نخواهد کرد که پارادوکس اطلاعات کاملاً حل شده باشد.

جهان هولوگرافیک

در آخر، نظریه M یک پیش‌بینی تا اندازه‌ای اسرارآمیز دارد که هنوز کاملاً درک نشده، ولی می‌تواند نتایج عمیق فیزیکی و فلسفی در بر داشته باشد. این سوآل مطرح می‌شود: آیا جهان یک هولوگرام است؟ آیا «جهان سایه‌ای» وجود دارد که در آن بدن‌های ما در یک فرم فشرده دو بعدی قرار دارند؟ این مسئله خود پرسش دیگری را برمی‌انگیزد: آیا جهان یک برنامه رایانه‌ای است؟ آیا می‌توان محتویات جهان را بر روی یک سی دی قرار داده و در زمان مناسب آن را پخش کرد؟

هم‌اکنون هولوگرام‌ها بر روی کارت‌های اعتباری، در موزه‌ها و در پارک‌های تفریحی استفاده می‌شوند. نکته قابل توجه در مورد آن‌ها این است که می‌توانند یک تصویر سه بعدی کامل را بر روی سطح دو بعدی ضبط کنند. در حالت عادی اگر به عکسی نگاه کرده و سپس سر خود را اندکی بچرخانید، تصویر روی عکس تغییری نخواهد کرد. اما در مورد هولوگرام مسئله متفاوت است. اگر به یک عکس هولوگرافیک نگاه کنید و سپس سر خود را بچرخانید، می‌بینید که تصویر تغییر می‌کند، به شکلی که انگار شما از درون یک پنجره یا سوراخ کلید به تصویر نگاه کرده‌اید. استفاده از هولوگرام می‌تواند سرانجام به تلویزیون‌ها و فیلم‌های سه بعدی منتهی گردد. در آینده شاید بتوانیم در اتاق نشیمن راحت نشسته و به تصویری کاملاً سه بعدی از مکان‌های دور بنگریم، طوری که پرده دیواری تلویزیون در حقیقت پنجره‌ای باشد که به چشم انداز جدیدی باز می‌شود. به‌علاوه اگر پرده دیواری به شکل

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

یک استوانه بزرگ باشد که اتاق ما در مرکز آن قرار گرفته باشد، اینطور به‌نظر می‌رسد که به‌درون دنیای جدیدی منتقل شده‌ایم. به هر طرف که نگاه کنیم تصویر سه بعدی از چیزهای جدیدی را می‌بینیم، که از اشیاء واقعی غیرقابل تشخیص‌اند.)

ماهیت هولوگرام به‌این‌ترتیب است که سطح دو بعدی آن تمام اطلاعات لازم برای تولید مجدد یک تصویر سه بعدی را در خود کدگذاری می‌کند. (در آزمایشگاه، هولوگرام‌ها از طریق تاباندن نور لیزر بر روی یک کلیشه حساس عکاسی ساخته می‌شوند. نور لیزر با نور تابیده شده از موضوع اصلی تداخل کرده وموجب پدید آمدن یک الگوی تداخلی و ثبت موضوع بر روی سطحی دو بعدی می‌شود.)

برخی کیهان‌شناسان تصور می‌کنند که شاید بتوان چنین ایده‌ای را در مورد خود جهان نیز به‌کار برد، اینکه شاید ما در یک هولوگرام زندگی می‌کنیم. منشاء این تفکر عجیب از فیزیک سیاهچاله‌ها بر می‌خیزد. بکنشتاین و هوکینگ حدس می‌زنند که مقدار کلی اطلاعات موجود درون یک سیاهچاله با مساحت افق رویداد آن (که یک کره است) متناسب است. این نتیجه عجیبی است. زیرا اطلاعات ذخیره شده در یک شیء اغلب با حجم آن متناسب است. به‌عنوان مثال مقدار اطلاعات ذخیره شده در یک کتاب با حجم آن متناسب است، و نه با سطح جلد آن. زمانی که می‌گوییم نمی‌توان در مورد یک کتاب از روی جلد آن قضاوت کرد به‌طور غیرارادی به‌همین مسئله اشاره می‌کنیم. اما این کشف درمورد سیاهچاله‌ها صادق نیست: برای سیاهچاله‌ها می‌توان از روی جلد آن‌ها قضاوت کرد.

ممکن است چنین فرضیه نادری را رد کنیم، زیرا سیاهچاله‌ها خود موجودات عجیب و غریبی هستند و مشاهدات ما را درهم می‌شکنند. با این حال، این نتیجه به نظریه M نیز اعمال می‌شود که ممکن است بتواند بهترین توصیف را از جهان به ما بدهد. در سال ۱۹۷۷، در انستیتوی مطالعات پیشرفته پرینستون ژوان مالداسِنا، با نشان دادن این موضوع که نظریه ریسمان‌ها منجر به ایجاد نوع جدید جهان هولوگرافیک می‌شود، شور و شوق

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

فراوانی ایجاد کرد. او با یک ضد-جهان دسیتر پنج بعدی آغاز کرد که اغلب در نظریه ریسمان‌ها و نظریه ابرگرانش ظاهر می‌شود. جهان دسیتر جهانی است که دارای ثابت کیهان‌شناسی مثبت است و به‌این‌ترتیب جهانی است که با گذشت زمان سرعت می‌گیرد. (به یاد می‌آوریم که بهترین تعبیر برای جهان ما همان جهان دسیتر است؛ با ثابت کیهانی که کهکشان‌ها را با سرعت بیشتر و بیشتر از هم دور می‌کند. یک جهان ضد-دسیتر دارای یک ثابت کیهانی منفی است و بنابراین می‌تواند از داخل منفجر شود.) مالداسنا نشان داد که بین این جهان پنج بعدی و «مرز» آن که جهانی چهار بعدی است، دوگانی وجود دارد. هر موجودی که در این فضای پنج بعدی زندگی می‌کند، از نظر ریاضی با موجوداتی که در فضای چهار بعدی زندگی می‌کنند معادل هستند. راهی وجود ندارد که آن‌ها را از هم جدا بدانیم.

تعدادی ماهی را درون تنگی در نظر بگیرید. این ماهی‌ها تصور می‌کنند که تنگ آن‌ها واقعی است. حال تصویری هولوگرافیک دو بعدی را از این ماهی‌ها تصور کنید که بر روی سطح تنگ منعکس شده است. این تصویر یک کپی دقیق از ماهی‌هاست، جز اینکه آن‌ها تخت شده‌اند. هر حرکتی که ماهی‌ها در تنگ انجام می‌دهند، در تصویر تخت بر روی سطح تنگ منعکس می‌شود. هم ماهی‌هایی که در تنگ شنا می‌کنند و هم ماهی‌های تخت شده که بر روی سطح تنگ زندگی می‌کنند، تصور می‌کنند که ماهی‌های واقعی بوده و آن بقیه وهم و خیال هستند. هردو گروه ماهی‌ها زنده بوده و به‌گونه‌ای رفتار می‌کنند که انگار آن‌ها ماهی‌های واقعی اند. کدام تعریف صحیح است؟ در حقیقت هردو. زیرا از نظر ریاضی با هم معادل و غیرقابل تفکیک‌اند.

چیزی که نظریه‌پردازان ریسمانی را به هیجان می‌آورد این حقیقت است که محاسبه در فضای ضد-دسیتر پنج بعدی نسبتاً آسان است. درحالی‌که کار با نظریه‌های میدان چهار بعدی آشکارا دشوار است. (حتی امروزه پس از ده‌ها سال کار سخت، قدرتمندترین رایانه‌های ما نیز نمی‌توانند معادله مدل کوارک چهار بعدی را حل کرده و جرم پروتون و نوترون را استخراج کنند. معادلات مربوط به خود کوارک‌ها به خوبی درک شده‌اند، اما ثابت شده است

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

حل کردن آن‌ها در چهار بعد به‌منظور به‌دست آوردن ویژگی‌های پروتون‌ها و نوترون‌ها بسیار سخت‌تر از آن چیزی است که قبلاً تصور می‌شد.) یکی از اهداف دانشمندان محاسبه جرم و مشخصات پروتون و نوترون با استفاده از این دوگانی عجیب است.

این دوگانی هولوگرافیک ممکن است کاربردهای عملی نیز داشته باشد، مثل حل کردن معمای اطلاعات در فیزیک سیاهچاله‌ها. اثبات این مسئله که با پرتاب اشیاء به‌درون سیاهچاله، اطلاعات گم نمی‌شوند در چهار بعد شدیداً مشکل است. اما چنین فضایی دوگان یک جهان پنج بعدی است که درون آن اطلاعات شاید هیچ‌گاه گم نشوند. امید می‌رود معماهایی که در چهار بعد قابل حل شدن نیستند (مثل معمای اطلاعات، محاسبه اجرام مدل کوارک و از این دست)، در نهایت بتوانند در پنج بعد حل شوند. همواره این امکان وجود دارد که این شباهت در حقیقت انعکاس جهان حقیقی باشد و اینکه ما در واقع به صورت هولوگرام وجود داشته باشیم.

آیا جهان یک برنامه رایانه‌ای است؟

همان‌طور که قبلاً دیدیم، جان ویلر عقیده داشت که تمام واقعیات فیزیکی را می‌توان به اطلاعات خالص تقلیل داد. بکنشتاین ایده اطلاعات سیاهچاله را با پرسیدن این سوآل یک قدم فراتر برد: آیا کل جهان یک برنامه رایانه‌ای است؟ آیا ما تنها بیت‌هایی بر روی سی دی کیهانی هستیم؟

این سوآل که آیا ما درون یک برنامه رایانه‌ای هستیم، در فیلم ماتریکس به خوبی بر پرده سینما به تصویر کشیده شده است. در این فیلم بیگانگان تمام واقعیات فیزیکی را در یک برنامه رایانه‌ای خلاصه کرده‌اند. میلیاردها انسان تصور می‌کنند که اختیار زندگی روزمره خود را در دست دارند، درحالیکه تمام این‌ها یک فانتزی ایجاد شده به‌وسیله رایانه بوده و بدن‌های واقعی آن‌ها درون غلاف‌هایی خوابیده‌اند و بیگانگان از بدن‌های‌شان به‌عنوان منابع انرژی استفاده می‌کنند.

در فیلم این امکان وجود دارد که برنامه‌های رایانه‌ای کوچکی را اجرا کرده

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

و به‌این‌ترتیب واقعیات کوچک مصنوعی ایجاد کرد. اگر کسی بخواهد استاد کونگ فو، یا خلبان هلیکوپتر شود، برنامه آن تنها با قراردادن یک سی دی در رایانه درون مغز ما ریخته می‌شود و کار تمام است! هرکسی می‌تواند آناً این مهارت‌های تخصصی را کسب کند. با اجرا کردن سی دی، یک زیرواقعیت جدید کامل ایجاد می‌شود. اما در اینجا سوآلی مطرح می‌شود: آیا می‌توان تمام واقعیات را بر روی یک سی دی قرار داد؟ قدرت رایانه‌ای لازم برای شبیه‌سازی واقعیت برای میلیاردها فرد خوابیده واقعاً گیج کننده است. اما به لحاظ نظری: آیا می‌توان تمام جهان را در یک برنامه رایانه‌ای محدود، دیجیتالی کرد؟

ریشه این سوآل به قوانین حرکت نیوتون و کاربردهای بسیار عملی آن در تجارت و زندگی‌های ما باز می‌گردد. مشهور است که مارک تواین گفته است، «همه از هوا شکایت می‌کنند ولی کسی کاری برای آن نمی‌کند.» تمدن مدرن نمی‌تواند حتی مسیر حرکت یک توفان را تغییر دهد. ولی فیزیکدانان سوآل خود را اندکی تخفیف داده‌اند: آیا می‌توان وضعیت هوا را پیش‌بینی کرد؟ آیا می‌توان برنامه رایانه‌ای را تهیه کرد که مسیر حرکت الگوی پیچیده تغییرات آب و هوایی را بر روی کره زمین پیش‌گویی کند؟ این کاربرد برای کسانی که فعالیت‌های آن‌ها به آب و هوا مربوط می‌شود، مثل کشاورزان که می‌خواهند بدانند چه زمانی باید محصول خود را برداشت کنند یا هواشناسانی که به‌دنبال یافتن روند گرم شدن زمین در این قرن هستند، بسیار اهمیت دارد.

در اصل رایانه‌ها می‌توانند از قوانین حرکت نیوتون استفاده کنند تا تقریباً با دقت خوبی مسیر حرکت مولکول‌های تشکیل دهنده هوا را محاسبه کنند. اما در عمل برنامه‌های رایانه‌ای شدیداً بی‌دقت هستند و در بهترین حالت بیشتر از چند روز برای پیش‌بینی هوا قابل اطمینان نیستند. برای پیش‌بینی هوا باید بتوان حرکت هرکدام از مولکولهای هوا را تعیین کرد، چیزی که بسیار فراتر ازتوانایی قدرتمندترین رایانه‌های ماست؛ همچنین مشکل نظریه آشوب و اثر پروانه‌ای نیز وجود دارند، طوری که کوچک‌ترین لرزش ناشی از بالهای پروانه می‌تواند اثر اعوجاج گونه‌ای ایجاد کند که در مواقع بحرانی هوای صدها

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

کیلومتر آن طرف‌تر را به‌طور قطع تحت تاثیر قرار دهد.

ریاضیدانان معتقدند مختصرترین مدلی که می‌تواند به دقت رفتار هوا را توصیف کند، خود هوا است. به‌جای تحلیل جزئی هر مولکول، بهترین کاری که می‌توان انجام داد این است که در جستجوی برآوردهایی از آب و هوای فردا و همچنین وقایع و الگوهای بزرگ‌تر (مثل اثر گلخانه‌ای) باشیم.

بنابراین بسیار مشکل است بتوان یک دنیای نیوتونی را در برنامه‌ای رایانه‌ای خلاصه کرد، زیرا متغیرهای بسیار زیاد و «پروانه‌های» فراوانی وجود دارند. اما در دنیای کوانتومی، اتفاقات عجیب به وقوع می‌پیوندند.

همان‌طور که قبلاً دیدیم بکنشتاین نشان داد که تمام محتویات اطلاعات یک سیاهچاله با مساحت سطح افق رویداد آن متناسب است. برای مشاهده این مطلب روشی حسی وجود دارد. بسیاری از فیزیکدانان عقیده دارند که کوچک‌ترین فاصله ممکن برابر طول پلانک، یعنی 10^{-33} سانتی‌متر است. در این فاصله فوق‌العاده کوچک، دیگر فضا هموار نبوده و شبیه به مایعی متشکل از حباب‌ها، کف آلود می‌شود. ما می‌توانیم سطح کروی افق را به مربع‌های کوچک تقسیم کنیم، به‌گونه‌ای که هرکدام طولی برابر طول پلانک داشته باشند. اگر هرکدام از این مربع‌ها شامل یک بیت اطلاعات باشند، و تمام مربع‌ها را با هم جمع کنیم، به‌طور تقریبی مجموع اطلاعات درون یک سیاهچاله را به‌دست آورده‌ایم. به این معنی که «مربع‌های پلانک»، کوچک‌ترین واحد اطلاعات هستند. اگر این درست باشد، بر طبق ادعای بکنشتاین شاید اطلاعات زبان حقیقی فیزیک باشند، نه نظریه میدان. آن‌طور که او می‌گوید، «نظریه میدان، علی‌رغم نامحدود بودن، نمی‌تواند داستان نهایی باشد.»

از زمان کار مایکل فارادی در قرن نوزدهم، فیزیک به زبان میدان‌ها فرمول‌بندی شده است. میدان‌ها، هموار و پیوسته بوده و به ما کمک می‌کنند تا قدرت مغناطیس، الکتریسیته، گرانش و غیره را در هر نقطه از فضا-زمان اندازه‌گیری کنیم. اما نظریه میدان براساس ساختارهای پیوسته و نه دیجیتالی بنا شده است. یک میدان می‌تواند هر مقداری داشته باشد، درحالی‌که یک

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

عدد دیجیتال تنها می‌تواند اعداد گسسته را براساس صفر و یک نشان دهد. به‌عنوان مثال، این مسئله همانند تفاوت بین یک ورق لاستیکی هموار در نظریه اینشتین و یک شبکه فلزی ظریف است. یک ورق لاستیکی را می‌توان به تعداد نامحدودی نقطه تقسیم کرد، درحالی‌که یک شبکه فلزی دارای محدودیت کوچک‌ترین فاصله، یعنی همان طول شبکه است.

بکنشتاین توصیه می‌کند که «یک نظریه نهایی به‌جای ارتباط داشتن با میدان‌ها یا حتی با فضا ـ زمان باید در عوض با مبادله اطلاعات بین فرایندهای فیزیکی سر و کار داشته باشد.»

اگر بتوان جهان را دیجیتالی کرده و به صفر و یک خلاصه کرد، آنگاه این سوآل پیش می‌آید که مجموع اطلاعات موجود در جهان چه خواهد بود؟ بکنشتاین تخمین می‌زند که یک سیاهچاله با عرض در حدود یک سانتیمتر می‌تواند 10^{66} بیت اطلاعات را در خود جای دهد. اما اگر واقعاً یک شیء وجود داشته باشد که با ابعاد تنها یک سانتیمتر بتواند چنان تعداد زیادی بیت اطلاعات را در خود نگه دارد، بنابراین جهان مرئی ما احتمالاً شامل اطلاعات بسیار بیشتری است؛ حداقل 10^{100} بیت اطلاعات. (این مقدار می‌تواند در یک کره با قطر یک دهم سال نوری جای داده شود. این عدد بسیار بزرگ، یعنی یک با صد صفر به‌دنبال آن، یک گوگل نامیده می‌شود.)

اگر این تصویر صحیح باشد، ما موقعیت عجیبی داریم. یعنی درحالی‌که یک دنیای نیوتونی را نمی‌توان به‌وسیله رایانه شبیه‌سازی کرد (یا تنها می‌تواند از طریق سیستمی به بزرگی خودش شبیه‌سازی شود)، در یک دنیای کوانتومی شاید بتوان خود جهان را درون یک سی دی جای داد! در چنین نظریه‌ای، اگر بتوانیم بیت اطلاعات را بر روی یک سی دی جای دهیم، می‌توانیم هر رویدادی را در جهان‌مان به‌راحتی در اتاق نشیمن خود شاهد باشیم. اصولاً می‌توان بیت‌های روی این سی دی را مرتب یا مجدداً برنامه‌ریزی کرد، به نوعی که واقعیت فیزیکی به روش دیگری اتفاق افتد. از برخی جهات، تنها یک قدرت خداگونه می‌تواند متن چنین نمایشی را مجدداً باز نویسی کند.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

(بکنشتاین همچنین تصدیق می‌کند که محتویات اطلاعات جهان حتی از این هم بزرگ‌تر است. درحقیقت کوچک‌ترین حجمی که بتواند اطلاعات یک جهان را در خود جای دهد باید به اندازه خود جهان باشد. اگر این حقیقت داشته باشد، آنگاه ما به نقطه آغاز باز گشته‌ایم: کوچک‌ترین سیستمی که می‌تواند جهان را مدل کند، خود جهان است.)

با این حال نظریه ریسمان‌ها، تعبیر کمی متفاوت از کوچک‌ترین فاصله و اینکه آیا می‌توانیم جهان را بر روی یک سی دی دیجیتالی کنیم یا نه، ارائه می‌دهد. نظریه M دارای چیزی است که دوگانی T نامیده می‌شود. فیلسوف یونانی زنو، اندیشید که یک خط را می‌توان بدون هیچ محدودیتی، به تعداد نامحدودی نقطه تقسیم کرد. امروزه فیزیکدانان کوانتومی مثل بکنشتاین عقیده دارند که کوچک‌ترین فاصله ممکن است فاصله پلانک، یعنی 10^{-33} سانتی‌متر باشد، جایی‌که بافت فضا-زمان کف آلود و حبابی می‌شود. اما نظریه M چرخش جدیدی به این مفهوم می‌دهد. بیایید فرض کنیم که یکی از نظریه‌ای ریسمان را گرفته و یک بُعد آن را به یک دایره با شعاع R خم کنیم. سپس نظریه ریسمان دیگری را گرفته و یک بعد آن را به یک دایره با شعاع $1/R$ جمع می‌کنیم. با مقایسه این دو نظریه کاملاً متفاوت، در می‌یابیم که آن دو دقیقاً یکی هستند.

حال R را بسیار کوچک، یعنی بسیار کوچک‌تر از طول پلانک در نظر می‌گیریم. این یعنی فیزیک درون طول پلانک با فیزیک بیرون طول پلانک معادل است. در طول پلانک، ممکن است فضا-زمان ناصاف و کف آلود شوند، اما فیزیک درون طول پلانک و فیزیک فواصل بسیار بزرگ می‌توانند در حقیقت یکسان باشند.

این دوگانی اولین‌بار در سال ۱۹۸۴، به‌وسیله همکار قدیمی من، کیجی کیکاوا، و دانشجوی او ماسامی یاماساکی، از دانشگاه اوزاکا کشف شد. اگرچه نظریه ریسمانی به وضوح نتیجه می‌دهد که «کوچک‌ترین فاصله» یعنی طول پلانک، وجود دارد، ولی فیزیک ناگهان در طول پلانک متوقف نمی‌شود. تغییر جدید این است که فیزیک در ابعاد کوچک‌تر از طول پلانک با

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

فیزیک ابعاد بزرگ‌تر از طول پلانک برابر است.

اگر این تفسیر تقریباً وارونه صحیح باشد، آنگاه به این معنی است که حتی در کوچک‌ترین فاصله نظریه ریسمانی، یک جهان کامل می‌تواند وجود داشته باشد. به بیان دیگر ما هنوز می‌توانیم از نظریه میدان با ساختارهای پیوسته آن (نه دیجیتالی شده) برای تشریح جهان استفاده کنیم، حتی در فواصلی که تماماً در انرژی پلانک قرار دارند. بنابراین شاید جهان اصلاً یک برنامه رایانه‌ای نباشد. به هر حال، از آنجا که این یک مسئله خوش تعریف است، زمان پاسخگوی آن خواهد بود.

(این دوگانی T توجیهی برای سناریوی «پیش از انفجار بزرگ» ونتزیانو است که من قبلاً به آن اشاره کردم. در آن مدل، یک سیاهچاله به طول پلانک فروپاشیده و سپس انفجار بزرگ دیگری از آن بیرون می‌جهد. این بازگشت مجدد نه رویدادی ناگهانی، بلکه دوگانی ظریف T بین یک سیاهچاله کوچک‌تر از طول پلانک و جهانی رو به انبساط بزرگ‌تر از طول پلانک است.)

پایان؟

اگر نظریه M موفق باشد، و اگر واقعاً نظریه‌ای برای همه چیز باشد، آیا این پایان فیزیک است؟ پاسخ این پرسش نه است. بگذارید مثالی برای شما بیاورم. حتی اگر قوانین شطرنج را نیز بدانیم، صرف دانستن قوانین از ما یک استاد بزرگ شطرنج نمی‌سازد. به‌طور مشابه دانستن قوانین جهان به این معنی نیست که ما استادانی بزرگ در زمینه درک تنوع غنی پاسخ‌های آن هستیم.

اگرچه نظریه M تصویر جدید شگفت انگیزی از شیوه‌ای که جهان ممکن است آغاز شده باشد به ما می‌دهد، اما شخصاً فکر می‌کنم هنوز کمی زود است که این نظریه را به کیهان‌شناسی وارد کنیم. من فکر می‌کنم مشکل اصلی این است که این مدل هنوز شکل نهایی خود را پیدا نکرده است. ممکن است نظریه M واقعاً نظریه‌ای برای همه چیز باشد، اما عقیده دارم که تا شکل نهایی آن هنوز بسیار فاصله دارد.

از سال ۱۹۶۸ این نظریه به عقب تکامل یافته و معادلات نهایی آن هنوز

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

کشف نشده‌اند. (به‌عنوان مثال نظریه ریسمانی را می‌توان، همان‌طور که کیکاوا و من سال‌ها پیش نشان دادیم، از طریق نظریه میدان ریسمانی فرمول بندی کرد. همتای این معادلات در نظریه M ناشناخته هستند.)

هم‌اکنون نظریه M با مشکلات متعددی مواجه است. یکی از این مشکلات غرق شدن فیزیکدانان در پوسته‌های P بعدی است. در مقالات متعدد منتشر شده، تنوع بسیار زیاد پوسته‌های موجود در ابعاد مختلف، فهرست‌وار ارائه شده‌اند. پوسته‌هایی به شکل پیراشکی با یک سوراخ یا با چندین سوراخ، پوسته‌های متقاطع و الی آخر.)

یکی از این مشکلات ما را به یاد داستان افسانه‌ای می‌اندازد که در آن مردان فرزانه نابینا با یک فیل مواجه می‌شوند. پس از لمس فیل هرکدام نظریه خود را ارائه می‌دهند. یکی از آن‌ها که دم فیل را لمس کرده است می‌گوید که فیل یک پوسته یک بعدی است (یک ریسمان). مرد دیگری که گوش فیل را لمس کرده می‌گوید فیل یک پوسته دو بعدی است. سرانجام، آخرین مرد می‌گوید که آن دو اشتباه کرده‌اند و با لمس پاها که شبیه به تنه درخت است، می‌گوید که فیل در حقیقت پوسته سه بعدی‌است. به‌دلیل اینکه آن‌ها نابینا هستند نمی‌توانند ببینند مجموع یک پوسته یک بعدی، دوبعدی و سه بعدی، چیزی نیست مگر یک حیوان به نام فیل.

به‌طور مشابه، باور این مسئله مشکل است که صدها پوسته یافت شده در نظریه M به نوعی بنیادی باشند. در حال حاضر ما هیچ درک جامعی از نظریه M نداریم. دیدگاه خود من، که در تحقیقات اخیرم راهبر بوده است، این است که این پوسته‌ها و ریسمان‌ها نشان‌دهنده «انقباضات» فضا هستند. اینشتین سعی کرد که ماده را در شرایط کاملاً هندسی، به صورت نوعی پیچش در بافت فضا-زمان توصیف کند. به‌عنوان مثال اگر ملحفه‌ای داشته باشیم و یک چروکیدگی کوچک در قسمتی از آن ایجاد کنیم، این چروکیدگی به نوعی رفتار می‌کند که انگار زندگی خودش را دارد. اینشتین سعی کرد که الکترون و دیگر ذرات بنیادی را به صورت نوعی اختلال در هندسه فضا-زمان مدل کند. اگر چه او بالاخره شکست خورد، این ایده ممکن است در نظریه M در

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

یک سطح بسیار بالاتر مجدداً احیا شود.

من عقیده دارم که اینشتین در مسیر درستی قرار داشته است. ایده او در حقیقت ایجاد فیزیک زیراتمی از طریق هندسه بوده است. به‌جای تلاش برای یافتن شباهت هندسی به ذرات نقطه‌ای، که راهبرد اینشتین بود، می‌توان با تجدید نظر سعی کرد تا یک شباهت هندسی بین ریسمان‌ها و پوسته‌هایی که از فضا-زمان محض ساخته شده‌اند ایجاد کرد.

یک راه برای یافتن منطق این روش، نگریستن به تاریخ فیزیک است. در گذشته هر زمان که فیزیکدانان با طیفی از اشیا مواجه می‌شدند، همواره در می‌یافتند که چیزی بنیادی تر در ریشه وجود دارد. به‌عنوان مثال، زمانی که خطوط طیفی منتشر شده از گاز هیدروژن دیده شدند، دانشمندان سرانجام دریافتند که آن‌ها از اتم، یعنی از جهش‌های کوانتومی که به‌وسیله الکترون حین چرخش به دور هسته ایجاد می‌شوند، ناشی شده‌اند. به‌طور مشابه هنگامیکه در دهه ۱۹۵۰ با تکثیر ذرات قوی مواجه شدیم، فیزیکدانان در نهایت دریافتند که آن‌ها چیزی نیستند جز حالات مرزی کوارک‌ها. و در حال حاضر فیزیکدانان عقیده دارند تکثیر کوارک‌ها و دیگر ذرات بنیادی مدل استاندارد، از لرزش‌های ریسمان‌ها ناشی شده‌اند.

در نظریه M، ما با تکثیر انواع پوسته‌های P بعدی مواجه هستیم. باور این مسئله که این‌ها می‌توانند بنیادی باشند، تنها به این دلیل ساده که پوسته‌های P بعدی زیادی وجود دارند و یا اینکه به‌طور ذاتی ناپایدار و واگرا هستند، مشکل است. راه حل ساده‌تری که با روش تاریخی مطابقت دارد، این است که تصور کنیم نظریه M از تنها یک نمونه ساده‌تر، شاید خود هندسه، نشأت گرفته باشد.

برای پاسخ به این پرسش اصولی، لازم است علاوه بر ریاضیات اسرارآمیز، اصول فیزیکی نهفته در نظریه را نیز بدانیم. همان‌طور که فیزیکدانی به نام برایان گرین گفته است: «در حال حاضر نظریه‌پردازان ریسمانی در وضعیتی مشابه اینشتین، اما این‌بار خالی از اصل هم ارزی، قرار دارند. از زمان حدس راهگشای ونتزیانو در سال ۱۹۶۸، قطعات نظریه از

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

کشفی به کشف دیگر به یکدیگر پیوند خورده‌اند. اما هنوز جایگاه یک اصل سازمانده مرکزی که این کشفیات و تمام دیگر ویژگی‌های نظریه را درون یک چارچوب روشمند قرار دهد خالی است، چارچوبی که موجودیت هرکدام از عوامل را قطعی کند. کشف این اصل از آنجا که احتمالاً طرزکار داخلی نظریه را به خوبی به نمایش می‌گذارد، می‌تواند نشانگر نقطه عطفی در تهیه نظریه ریسمان‌ها باشد.»

به‌این‌ترتیب میلیون‌ها روشی که تاکنون برای نظریه ریسمان‌ها یافت شده‌اند و هرکدام معرف یک جهان کاملاً خود سازگار هستند، معنی پیدا می‌کنند. در گذشته تصور می‌شد از بین انبوه پاسخ‌ها، تنها یکی بیانگر راه حل حقیقی نظریه ریسمان‌ها باشد. اما امروزه این طرز فکر تغییر کرده است. تاکنون هیچ روشی برای انتخاب یک جهان از بین میلیون‌ها جهان کشف شده، پیدا نکرده‌ایم. هم‌اکنون طرز فکر جدیدی رو به گسترش است که بیان می‌دارد اگر ما نتوانیم راه حل منحصربفردی برای نظریه ریسمان‌ها بیابیم، احتمالاً به این دلیل است که چنین چیزی وجود ندارد. به‌این‌ترتیب شاید بتوان گفت تمام پاسخ‌ها با هم برابرند. جهان چندگانه‌ای شامل چندین جهان وجود دارد که هرکدام با تمام قوانین فیزیک سازگارند. این طرز فکر ما را به چیزی به نام اصل انسانی واحتمال وجود یک «جهان طراح» رهنمون می‌سازد.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

فصل ۸ جهان طراح؟

قبل از پدید آمدن این سیستم، ممکن است در طول ابدیت، جهان‌های متعددی سرهم شده باشند. اتلاف نیرو فراوان، آزمون و خطا بسیار، و بهبود در هنر ساخت جهان، آهسته اما پیوسته، در طول اعصار لایتناهی، صورت واقع پذیرفت.

ـ دیوید هیوم

در دوران کودکی، زمانی که در کلاس دوم درس می‌خواندم، برحسب تصادف معلم اظهار نظری کرد که من هرگز فراموش نمی‌کنم. او گفت: «خداوند آنقدر زمین را دوست داشته، که آن را درست در فاصله مناسب از خورشید قرار داده است.» من به‌عنوان یک کودک شش ساله شدیداً تحت تاثیر سادگی و در عین حال قدرت این استدلال قرار گرفتم. اگر خداوند زمین را بسیار دورتر از خورشید قرار می‌داد، اقیانوس‌ها منجمد می‌شدند. از طرف دیگر، اگر زمین را در فاصله بسیار نزدیک‌تری قرار می‌داد، در این صورت اقیانوس‌ها بخار شده و از بین می‌رفتند. از نظر معلم من، این یعنی نه تنها خداوند وجود دارد، بلکه بسیار بخشنده نیز هست. او آن‌قدر زمین را دوست داشته که آن را درست در فاصله مناسب از خورشید قرار داده است. این مسئله تاثیر عمیقی بر من گذاشت.

امروزه فیزیکدانان بیان می‌کنند که زمین در ناحیه گولدیلاکس از خورشید قرار دارد؛ درست در فاصله‌ای که آب، این «حلال عالمگیر»، به‌منظور ایجاد مواد شیمیایی لازم برای حیات، به صورت مایع وجود داشته باشد. اگر زمین

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

در فاصله دورتری از خورشید قرار داشت، ممکن بود سطح زمین مانند مریخ به صورت یک «صحرای منجمد» باشد؛ سطحی خشک و بی‌حاصل که بر روی آن آب و حتی دی اکسید کربن نیز اغلب به صورت جامد وجود دارند. حتی در زیر سطح خاک مریخ، لایه‌ای دائمی از یخ وجود دارد.

اگر زمین نزدیک‌تر از این به خورشید بود، در این صورت بیشتر شبیه به سیاره زهره بود. زهره، از نظر اندازه تقریباً با زمین برابر است. این سیاره به «سیاره گلخانه‌ای» معروف شده است. به‌دلیل اینکه زهره بسیار به خورشید نزدیک بوده و اتمسفر آن نیز از دی اکسید کربن تشکیل شده است، جو زهره انرژی خورشید را جذب کرده، تا جائی که دما به ۴۸۰ درجه سانتیگراد می‌رسد. به‌همین دلیل، رویهمرفته زهره داغ‌ترین سیاره در منظومه شمسی است. زهره را می‌توان، به‌دلیل وجود باران‌های اسید سولفوریک، فشار جوی معادل صدها برابر بیشتر از آنچه در روی زمین می‌بینیم، و حرارت سوزان، جهنمی‌ترین سیاره منظومه شمسی دانست. این‌ها همه به این دلیل است که این سیاره از زمین به خورشید نزدیک‌تر است.

فیزیکدانان در تحلیل استدلال معلم من خواهند گفت که جمله او مصداقی از اصل انسانی (یا اصل آنتروپیک)[1] است که بیان می‌دارد قوانین طبیعت به‌گونه‌ای تنظیم شده‌اند که امکان وجود حیات و آگاهی در آن فراهم آید. این قوانین، چه در پس آن‌ها طراح بزرگی قرار داشته باشد و چه کاملاً تصادفی باشند، به‌دلیل وجود تعداد زیاد «حوادث» که وجود حیات و آگاهی را امکان‌پذیر ساخته‌اند، مخصوصاً در سال‌های اخیر موضوع مجادلات بسیاری بوده‌اند. از نظر برخی، این دلیلی است برای وجود خدایی که از روی فکر، قوانین طبیعت را به‌گونه‌ای تنظیم کرده است، که وجود حیات و درنتیجه وجود ما را امکان‌پذیر سازد. اما از نظر دیگر دانشمندان، این بدان معناست که یا ما از روی خوش شانسی در نتیجه رخ دادن دنباله‌ای از اتفاقات به‌وجود آمده‌ایم یا در صورت اعتقاد به نسخه‌های مختلف نظریه تورم و نظریه M، جهان چندگانه‌ای متشکل از چندین جهان در آن واحد وجود خواهد داشت.

---

1. Anthropic principle

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

برای درک بهتر این دلایل، ابتدا اتفاقاتی را که منجر به بروز حیات بر روی کره زمین شده‌اند، در نظر بگیرید. ما تنها در محدوده گولدیلاکس خورشید قرار نداریم، بلکه همچنین در مجموعه‌ای از نواحی گولدیلاکس دیگر بسر می‌بریم. به‌عنوان مثال ابعاد ماه برای اینکه در مدار زمین به صورت پایدار حرکت کند، کاملاً درست و مناسب است. اگر ماه بسیار کوچک‌تر از ابعاد فعلی‌اش بود، حتی وجود اختلالات بسیار کوچک در چرخش زمین، به مرور زمان در طول صدها میلیون سال، بر روی هم انباشته شده و باعث می‌گردید که زمین به‌طور مصیبت باری در چرخش خود دچار لنگی شود و بنابراین چنان تغییرات شدیدی در آب و هوا ایجاد شود که وجود حیات را غیرممکن سازد. برنامه‌های رایانه‌ای نشان می‌دهند که بدون وجود این ماه بزرگ (در حدود یک سوم ابعاد زمین)، احتمالاً محور زمین در مدت زمان میلیون‌ها سال به اندازه ۹۰ درجه تغییر پیدا می‌کرد. از آنجا که دانشمندان عقیده دارند که پیدایش DNA به صدها میلیون سال پایداری آب و هوایی نیاز داشته است، بنابراین زمینی که محور آن مرتباً جابجا شود، چنان تغییرات فاجعه‌باری در آب و هوا ایجاد خواهد کرد که پیدایش DNA را غیرممکن می‌سازد. خوشبختانه ابعاد ماه درست به همان اندازه‌ای است که مدار زمین را پایدار گرداند؛ به‌طوری که چنان فاجعه‌ای هرگز رخ ندهد. (اقمار مریخ به اندازه کافی بزرگ نیستند تا چرخش آن را تثبیت کنند. در نتیجه مریخ در حال حاضر به آهستگی در حال ورود به عصر دیگری از ناپایداری است. ستاره‌شناسان عقیده دارند، محور مریخ نسبت به گذشته به اندازه ۴۵ درجه تغییر کرده است.)

به‌علاوه، به‌دلیل وجود نیروهای کوچک جذر و مدی، ماه در هر سال به اندازه ۴ سانتی‌متر از زمین فاصله می‌گیرد؛ به‌این‌ترتیب در حدود دو میلیارد سال بعد، فاصله آن بسیار زیادتر از آن خواهد بود تا بتواند چرخش زمین را پایدار سازد. این مسئله می‌تواند برای حیات روی کره زمین خطرناک باشد. میلیاردها سال بعد، نه تنها به‌دلیل به‌هم خوردن مدار چرخش زمین آسمان شب بدون ماه خواهد بود، بلکه احتمالاً مجموعه صور فلکی دیده شده در آسمان نیز تغییر خواهند کرد. در این صورت، آب و هوای کره زمین غیرقابل

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

پیش‌بینی بوده و بنابراین ادامه حیات غیرممکن می‌گردد.

زمین‌شناسی به نام پیتر وارد و ستاره‌شناسی به نام دونالد براون لی از دانشگاه واشنگتن می‌نویسند: «بدون وجود ماه، دیگر نه مهتابی خواهد بود، نه دوازده ماه سالی، نه جنونی، نه برنامه آپولویی، و نه دیگر شعرسرایی، و از آن پس جهان، به جایی با شب‌های تاریک و غم‌افزا بدل خواهد شد. همچنین بدون ماه احتمال دارد که هیچ پرنده‌ای، درختی، نهنگی، خرچنگی، یا دیگر حیات پیشرفته‌ای هرگز در روی زمین افسونگری نکند.»

به‌طور مشابه، مدل‌های رایانه‌ای منظومه شمسی ما نشان می‌دهند که وجود سیاره مشتری در منظومه شمسی، برای حیات کره زمین به نوعی خوش شانسی محسوب می‌شود. به این دلیل که گرانش شدید آن به بیرون راندن خرده سیارک‌ها از منظومه کمک می‌کند. در طول عصر شهاب‌سنگ‌ها، از ۳/۵ میلیارد سال تا ۴/۵ میلیارد سال پیش، تقریباً میلیاردها سال طول کشید تا منظومه شمسی ما از باقی مانده‌های خرده سیارک‌ها و دنباله‌دارها پاک شود. اگر مشتری بسیار کوچک‌تر از این و گرانش آن ضعیف‌تر می‌بود، در این صورت هنوز منظومه شمسی ما مملو از خرده سیارک‌ها بوده و به‌این‌ترتیب با سقوط خرده سیارک‌ها بر روی زمین و اقیانوسها، حیات غیرممکن می‌گشت. بنابراین مشتری نیز درست در اندازه صحیح و مناسب برای حیات قرار دارد.

از طرف دیگر، ما همچنین در ناحیه گولدیلاکس جرم سیاره‌ای قرار داریم. اگر جرم زمین قدری کم‌تر بود، گرانش آن چنان ضعیف می‌بود که نمی‌توانست اکسیژن را در خود نگاه دارد. اگر بسیار زیاد می‌بود، بسیاری از گازهای نخستین سمی را هنوز در خود داشت و به‌این‌ترتیب حیات را غیرممکن می‌ساخت. این یعنی وزن کره زمین برای نگهداری یک ترکیب جوی مناسب برای حیات کاملاً متعادل است.

به‌طور مشابه، می‌توان گفت ما در منطقه گولدیلاکس مدارهای مجاز سیاره‌ای قرار داریم. به‌طور قابل ملاحظه‌ای، مدار سیارات دیگر، بجز مدار پلوتو، تقریباً دایره‌ای هستند؛ به این معنی که برخوردهای سیاره‌ای در منظومه شمسی کاملاً نادر است. به بیان دیگر، زمین در نزدیکی هیچ‌کدام از غول‌های

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

گازی، که گرانش آن‌ها می‌تواند به‌راحتی مدار زمین را مختل کند، قرار نمی‌گیرد. این نیز برای حیات که نیاز به صدها میلیون سال پایداری دارد، مناسب است.

به‌علاوه زمین همچنین در ناحیه گولدیلاکس کهکشان راه شیری، در حدود دو سوم فاصله از مرکز کهکشان، قرار دارد. اگر منظومه شمسی به مرکز کهکشان، جایی‌که سیاهچاله‌ها در کمین هستند، بسیار نزدیک بود، میدان تابش چنان شدید می‌بود که حیات را غیرممکن می‌ساخت. و اگر منظومه شمسی بسیار بیشتر از این از مرکز فاصله داشت، آنگاه به اندازه کافی عناصر سنگین‌تر به‌منظور ساختن مواد لازم برای حیات، وجود نداشتند.

دانشمندان قادرند مثال‌های متعددی ارائه کنند که بر طبق آن‌ها زمین درون هزارها ناحیه گولدیلاکس مختلف قرار دارد. ستاره‌شناسان وارد و براون لی، استدلال می‌کنند که تعداد نوارهای باریک و نواحی گولدیلاکسی که درون آن‌ها قرار داریم چنان زیاد است، که می‌توان گفت وجود حیات هوشمند بر روی کره زمین، در کل کهکشان یا شاید در کل جهان، منحصربفرد است. این دو نفر فهرست جالبی تهیه کرده‌اند که در آن نشان می‌دهد زمین برای داشتن یک حیات هوشمند دارای مقادیر کاملاً مناسبی از اقیانوس‌ها، لایه‌های زمین‌شناسی، محتویات اکسیژن، دما، انحراف محور چرخش، و... است. اگر زمین تنها از یکی از این ناحیه‌های باریک خارج می‌شد، ما هم‌اکنون اینجا نبودیم تا در این مورد صحبت کنیم.

آیا کره زمین، تنها به این خاطر که خداوند آن را دوست داشته، درست در بین تمام این شرایط مناسب قرار گرفته است؟ شاید. البته، می‌توان نتایج دیگری را در نظر گرفت که نیازی به تکیه بر وجود خدا نداشته باشد. شاید میلیون‌ها سیاره مرده در فضا وجود داشته باشند که به خورشید منظومه خود بیش از حد نزدیک بوده‌اند، یا قمرشان بسیار کوچک، مشتری‌شان بسیار کوچک، یا به مرکز کهکشانی خود بسیار نزدیک باشند. وجود نواحی گولدیلاکس در مورد زمین لزوماً به این معنی نیست که خداوند بر ما موهبت خاصی ارزانی داشته است؛ این مسئله به سادگی می‌تواند تنها یک تصادف باشد؛ یک نمونه نادر در بین میلیون‌ها سیاره مرده در فضا که در بیرون از این

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

نواحی گولدیلاکس قرار دارند.

فیلسوف یونانی دموکریتوس، کسی که برای اولین‌بار وجود اتم‌ها را مطرح کرد، نوشته است: «جهان‌های مختلفی وجود دارند که از نظر تعداد، نامحدود و از نظر ابعاد با هم متفاوتند. در برخی از آن‌ها، نه خورشید وجود دارد و نه ماه. در برخی دیگر، بیش از یک ماه و خورشید وجود دارد. فاصله بین جهان‌ها متفاوت، و در برخی مناطق تعداد آن‌ها بیشتر است.... انهدام آن‌ها از طریق برخوردشان با یکدیگر رخ می‌دهد. برخی از جهان‌ها، عاری از حیوانات، زندگی گیاهی و رطوبت هستند.»

در سال ۲۰۰۲، ستاره‌شناسان موفق شدند صدها سیاره را بیابندکه در خارج از منظومه شمسی به دور ستارگان دیگر می‌چرخیدند. در حال حاضر تقریباً در هر دو هفته، یک سیاره غیرخورشیدی جدید کشف می‌شود. از آنجا که سیارات غیر خورشیدی هیچ نوری از خود متصاعد نمی‌کنند، ستاره‌شناسان آن‌ها را از روش‌های غیرمستقیم شناسایی می‌کنند. قابل اطمینان‌ترین روش برای این‌کار جستجو برای یافتن لنگی در چرخش ستاره مادر است؛ به‌این ترتیب که حین چرخش سیاره‌ای در ابعاد مشتری به‌دور آن، ستاره به جلو و عقب می‌رود. با تحلیل انتقال دوپلری نور منتشر شده از ستاره، می‌توان سرعت حرکت آن را محاسبه کرده و برای محاسبه جرم سیاره نیز می‌توان از قوانین نیوتون کمک گرفت.

کریس مک کارتی، از انستیتوی کارنگی می‌گوید: «یک ستاره و سیاره بزرگی که به‌دور آن می‌چرخد را می‌توان به صورت دو رقصنده همراه تصور کرد. درحالی‌که آن دو دست‌های خود را به‌درون هم جفت کرده‌اند، به‌دور هم می‌چرخند. رقصنده کوچک‌تر، فاصله بیشتری را در دایره بزرگ‌تری می‌پیماید. درحالی‌که رقصنده بزرگ‌تر که در دایره درونی قرار دارد، تنها در دایره کوچکی می‌چرخد ـ حرکت به‌دور دایره کوچک داخلی همان لرزش و لنگی کمی است که ما در این ستارگان می‌بینیم.» در حال حاضر، این فرایند چنان دقیق است که قادریم تغییرات بسیار کوچکی در سرعت را، برابر ۳ متر در ثانیه (برابر با سرعت تند راه رفتن)، در فاصله‌ای برابر صدها سال نوری از ما، تعیین کنیم.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

هم‌اکنون روش‌های خلاقانه متعددی برای یافتن سیارات غیرخورشیدی ارائه شده‌اند. یکی از این روش‌ها، جستجو برای یافتن سیاره، درست در زمانی است که از مقابل ستاره مادر عبور می‌کند. به‌این‌ترتیب که حین عبور سیاره از مقابل ستاره مادر، درخشندگی کمی کاهش می‌یابد. در طول پانزده الی بیست سال آینده، ناسا ماهواره تداخل‌سنجی فضایی خود را در مدار قرار داده تا سیارات کوچک‌تر شبه زمینی را در فضا بیابد. (از آنجا که درخشندگی ستاره مادر می‌تواند سیاره را تحت الشعاع قرار دهد، این ماهواره از تداخل نور برای خنثی کردن هاله نور شدید ستاره مادر، استفاده می‌کند و به‌این‌ترتیب سیاره شبه زمینی آشکار می‌شود.)

تاکنون هیچ کدام از سیارات غیرخورشیدی یافت شده در ابعاد مشتری، به زمین شباهت نداشته‌اند و احتمالاً تمام آن‌ها خالی از حیات هستند. ستاره‌شناسان این سیارات را یا در مدارهای خیلی بیرون از مرکز یا در مدارهایی که بسیار به ستاره مادر نزدیک هستند، یافته‌اند؛ در هر دو صورت امکان وجود شرایط مشابه با زمین در آن‌ها وجود نداشته است. در این منظومه‌ها، سیاره با ابعاد مشتری در ناحیه گولدیلاکس قرار گرفته و بنابراین هر سیاره کوچکی را در ابعاد زمین به بیرون می‌راند و در نتیجه مانع از شکل‌گیری حیات به شکل شناخته شده آن می‌گردد.

مدارات خیلی بیرون از مرکز، در فضا بسیار دیده می‌شوند ــ در حقیقت چنان شایع‌اند که وقتی در سال ۲۰۰۳، منظومه شمسی «نرمالی» در فضا یافت شد، سر و صدای زیادی بپا کرد. ستاره‌شناسان در ایالات متحده و استرالیا در یک زمان کشف یک سیاره در ابعاد مشتری را اعلام کردند که به‌دور ستاره HD 70642 در حال چرخش بود. نکته غیرعادی در مورد این سیاره (با ابعادی برابر حدوداً دو برابر ابعاد مشتری ما) این بود که در مداری دایره‌ای، با تقریباً همان نسبت مشتری به خورشید ما، در حال چرخش بود.

در آینده، ستاره‌شناسان باید بتوانند به‌منظور یافتن منظومه‌های خورشیدی، اطلاعات مربوط به تمام ستارگان نزدیک را، جمع‌آوری و فهرست کنند. پل باتلر، از انستیتوی کارنگی در واشنگتن، کسی که در کشف

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

اولین سیاره غیرخورشیدی در سال ۱۹۹۵ نقش داشته می‌گوید: «تلاش ما بر این است تا کل نزدیک‌ترین ۲۰۰۰ ستاره شبه خورشیدی را تحت بررسی قرار دهیم؛ یعنی تمام ستاره‌های شبه خورشیدی که در فاصله ۱۵۰ سال نوری ما قرار دارند. ما دو هدف داریم؛ یکی شناسایی و انجام یک سرشماری اولیه از نزدیک‌ترین همسایگانمان در فضا و دیگری فراهم آوردن اطلاعات اولیه برای پاسخ گویی به این سوآل اساسی که منظومه شمسی ما تا چه حد شایع یا نادر است؟»

حوادث کیهانی

به‌منظور پیدایش حیات بر روی کره زمین، سیاره ما باید برای مدت زمان صدها میلیون سال در وضعیت پایداری بوده باشد. اما ساختن جهانی که برای صدها میلیون سال پایدار باشد، به‌طور حیرت‌آوری مشکل است.

با نحوه شکل‌گیری اتم‌ها آغاز کنیم، با این حقیقت که یک پروتون کمی کم‌تر از یک نوترون وزن دارد. این بدان معناست که نوترون‌ها در نهایت به پروتون، که حالت انرژی پایین‌تری را اشغال می‌کند، تنزل می‌یابند. اگر پروتون، تنها ۱ درصد سنگین‌تر بود، به یک نوترون تبدیل شده و به‌این‌ترتیب تمام هسته‌ها ناپایدار شده و از هم می‌پاشیدند. به بیان دیگر تمام اتم‌ها تجزیه شده و حیات غیرممکن می‌گردید.

تصادف کیهانی دیگری که حیات را ممکن ساخته، این است که پروتون پایدار است و به یک ضدالکترون تنزل نمی‌یابد. آزمایش‌ها نشان داده‌اند که عمر یک پروتون بسیار زیاد است؛ بسیار طولانی‌تر از عمر خود جهان. به‌منظور ایجاد DNA، پروتون‌ها باید برای مدت زمان حداقل صدها میلیون سال پایدار بوده باشند.

اگر نیروی هسته‌ای قوی، کمی ضعیف‌تر بود، هسته‌هایی مثل دوتریم از هم پاشیده می‌شدند و هیچ کدام از عناصر جهان نمی‌توانستند از طریق سنتز هسته‌ای به‌طور پیوسته درون ستارگان ایجاد شوند. اگر نیروی هسته‌ای قوی کمی قوی‌تر بود، ستارگان سوخت هسته‌ای خود را بسیار سریع می‌سوزاندند

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

و حیات فرصت تکامل نمی‌یافت.

اگر قدرت نیروی هسته‌ای ضعیف را نیز تغییر دهیم، این‌بار هم در می‌یابیم که حیات غیرممکن می‌گردد. نوترینوها، که از طریق نیروی هسته‌ای ضعیف عمل می‌کنند، برای انتقال انرژی یک ابرنواختر در حال انفجار ضروری هستند. این انرژی به نوبه خود مسئول ایجاد عناصر سنگین‌تر از آهن است. اگر نیروی هسته‌ای ضعیف کمی ضعیف‌تر می‌بود، نوترینوها به ندرت با هم برهم‌کنش داشتند، به این معنی که ابرنواخترها نمی‌توانستند عناصر بالاتر از آهن را ایجاد کنند. اگر نیروی هسته‌ای ضعیف کمی قوی‌تر بود، ممکن بود که نوترینوها نتوانند از مرکز ستاره به خوبی فرار کنند، که این هم باز از ایجاد عناصر بالاتر که منجر به ایجاد جسم و جهان ما می‌گردند جلوگیری می‌کرد.

دانشمندان فهرست بلندی از چنین «تصادفات کیهانی خوشایند» تهیه کرده‌اند. وقتی با این لیست پر ابهت مواجه می‌شویم، حیرت‌آور است وقتی می‌بینیم که چه تعداد زیادی از ثابت‌های شناخته شده جهان، درون ناحیه‌های بسیار باریکی قرار دارند که حیات را ممکن می‌سازند. اگر تنها یکی از این تصادفات به‌گونه دیگری اتفاق می‌افتاد، ستارگان هرگز شکل نمی‌گرفتند، جهان از هم می‌پاشید، DNA وجود نمی‌داشت، حیات آن‌طور که می‌شناسیم غیرممکن می‌بود، زمین زیر و زبر یا منجمد می‌شد و الی آخر.

ستاره‌شناسی به نام هیو راس، برای تاکید بر قابل توجه بودن این شرایط، این مسئله را با شرایطی مقایسه کرده است که در آن در نتیجه برخورد یک توفان با یک هواپیمای اوراق، یک هواپیمای بوئینگ ۷۴۷ به‌طور کامل سرهم و ساخته شود.

اصل انسانی

این‌بار هم تمام استدلالات ارائه شده در بالا، در سایه اصل انسانی قرار می‌گیرند. می‌توان دیدگاه‌های متفاوتی را در قبال این اصل بحث انگیز اختیار کرد. معلم کلاس دوم من احساس می‌کرد که این اتفاقات و تصادفات خوشایند، همه دلیلی بر وجود یک برنامه یا طرح بزرگ از پیش تعیین شده هستند.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

همان‌طورکه فیزیکدانی به نام فریمن دِیسون گفته است: «به‌نظر می‌رسد که جهان از قبل می‌دانسته ما می‌آئیم.» این نمونه‌ای از اصل انسانی قوی است؛ این ایده که تنظیم دقیق ثابت‌های فیزیکی تصادفی نبوده، بلکه بیانگر وجود یک برنامه یا چیزی از این دست است. (اصل انسانی ضعیف، بیان می‌کند که ثابت‌های فیزیکی جهان به‌گونه‌ای‌هستند، که حیات و آگاهی را ممکن می‌سازند.)

فیزیکدانی به نام دان پیج، انواع مختلف اصول انسانی مطرح شده در طول سال‌ها را اینگونه خلاصه کرده است:

اصل انسانی ضعیف: «آنچه که از جهان مشاهده می‌کنیم، به نیازهای وجودی ما به‌عنوان یک نظاره‌گرمحدود می‌شود.»

اصل انسانی قوی ـ ضعیف: «حیات باید در حداقل یک جهان... از جهان چند دنیایی، وجود داشته باشد.»

اصل انسانی قوی: «جهان باید درون خود ویژگی‌هایی برای حیات داشته باشد، تا بالاخره زمانی درون آن به‌وجود آید.»

اصل انسانی قطعی: «هوش باید در جهان به‌وجود آید و هرگز از بین نرود.»

بر طبق ادعای یکی از فیزیکدانان معتقد به اصل انسانی قوی، وِرا کیستیاکوفسکی در MIT، این اصل نشانه‌ای برای وجود خدا است. او می‌گوید: «ترتیب دقیقی که در یافته‌های علمی ما از دنیای فیزیکی دیده می‌شود، مستلزم وجود نیرویی یزدانی است.» جان پولکینگهورن، دانشمندی که از طرفداران این طرز فکر است، یک فیزیکدان ذره‌ای بود که موقعیت خود را در دانشگاه کمبریج رها کرده و در کلیسای انگلستان ردای کشیشی بر تن کرد. او می‌نویسد: «این جهانی که می‌بینیم، جهان معمولی نیست، بلکه ویژه است و به‌دقت برای حیات تنظیم شده است، زیرا خالق خلاقی وجود دارد که مایل است اینگونه باشد.» در حقیقت خود ایزاک نیوتون، کسی که مفهوم قوانین تغییرناپذیر را مطرح کرد که سیارات و ستارگان را بدون دخالت الهی هدایت می‌کردند، عقیده داشت که زیبایی این قوانین، خود به‌وجود خدا اشاره دارند.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

اما استیون واینبرگ، فیزیکدان و دارنده جایزه نوبل، متقاعد نشده است. او به جذابیت اصل انسانی اعتراف می‌کند: «باور این مسئله برای انسان‌ها سخت است که با جهان خویشاوندی خاصی داشته باشیم. اینکه زندگی انسان تنها یک خروجی کم و بیش مضحک از زنجیره‌ای از اتفاقات تصادفی مربوط به سه دقیقه اول نیست، بلکه ما به نوعی از ابتدا ساخته شده بودیم.» با این حال او اینطور نتیجه می‌گیرد که اصل انسانی قوی «کمی بیشتر از یک کلام اسرارآمیز است».

دیگران نیز کم‌تر به قدرت اصل انسانی اعتقاد دارند. فیزیکدان مرحوم، هاینز پِیگلز، در دوره‌ای از عمر خود تحت تاثیر این اصل قرار گرفت، ولی به مرور زمان علاقه خود را از دست داد. زیرا این اصل قدرت پیش‌بینی نداشت. این نظریه نه قابل آزمون است و نه راهی وجود دارد تا بتوان اطلاعات جدیدی را از درون آن استخراج کرد. در عوض جریان بی‌پایانی است از تکرار مکررات ــ اینکه ما اینجا هستیم، زیرا اینجا هستیم.

گوث نیز اصل انسانی را قبول ندارد و بیان می‌کند که: «برای من باور این مسئله سخت است که کسی توضیح بهتری برای چیزی داشته باشد و با این حال از اصل انسانی استفاده کند. به‌عنوان مثال من هنوز منتظرم که یک اصل انسانی از تاریخ جهان بشنوم... اصل انسانی چیزی است که افراد، درصورتیکه شیوه بهتری به فکرشان نرسد، به آن متوسل می‌شوند.»

جهان چندگانه

دانشمندان دیگر، مثل لرد مارتین ریس از دانشگاه کمبریج، عقیده دارند که این تصادفات کیهانی دلایلی برای وجود جهان چندگانه هستند. ریس عقیده دارد که تنها راه بیان این حقیقت که ما درون یک ناحیه بسیار باریک از صدها «اتفاق» زندگی می‌کنیم، مسلم فرض کردن وجود میلیون‌ها جهان موازی است. در این جهان متشکل از چندین جهان، اغلب جهان‌ها مرده‌اند. پروتون پایدار نیست. اتم‌ها هرگز متراکم نمی‌شوند. DNA هیچ‌گاه شکل نمی‌گیرد. جهان، نابهنگام (قبل از بلوغ) از هم فروپاشیده یا تقریباً آناً از حرکت باز

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

می‌ایستد. اما در جهان ما دنباله‌ای از حوادث کیهانی رخ داده‌اند؛ نه لزوماً به‌دلیل دخالت خداوند بلکه به‌دلیل قانون میانگین.

از برخی جهات، شاید بتوان تصور کرد لرد مارتین ریس آخرین کسی باشد که از ایده جهان‌های موازی حمایت کند. او ستاره‌شناس سلطنتی انگلستان است و برای ارائه نقطه نظر این موسسه، در مقابل جهان مسئول است. ریس، با موهای نقره‌ای و لباس‌های مرتب، به همان اندازه در مورد نگرانی‌های عامه مردم به شیوایی صحبت می‌کند که در مورد شگفتی‌های کیهان.

او عقیده دارد، تنظیم دقیق جهان به‌گونه‌ای که حیات در آن امکان‌پذیر گردد، تصادفی نیست. مسئله این است که تصادفات بسیار زیادی رخ داده‌اند تا جهان در چنین نوار باریکی قرار گرفته و در نتیجه حیات امکان‌پذیر شده. ریس می‌نویسد: «تنظیم دقیقی که وجود ما به آن وابسته است، می‌توانست یک اتفاق باشد. من زمانی اینگونه فکر می‌کردم. اما اینک چنین دیدگاهی کوته فکرانه به‌نظر می‌رسد... اگر این را بپذیریم، ویژگی‌های مختلف جهان ما ــ آن‌هایی که برخی خداشناسان به‌عنوان دلیلی برای مشیت الهی یا تدبیر اقامه کرده‌اند ــ تعجبی را برنمی‌انگیزند.»

ریس تلاش کرده است تا با مقداردهی به برخی از این مفاهیم، استدلالات خود را قوت بخشد. بر طبق ادعای او، این جهان تحت حکومت و کنترل شش عدد می‌باشد، که هرکدام از آن‌ها قابل اندازه‌گیری بوده و مقادیر دقیقی دارند. این شش عدد باید به‌گونه‌ای باشند که شرایط حیات را فراهم کنند، وگرنه منجر به ایجاد جهان‌های عاری از حیات می‌گردند.

اولین آن‌ها اِپسیلون، برابر ۰/۰۰۷ است. اپسیلون، مقدار نسبی هیدروژنی است که در انفجار بزرگ از طریق همجوشی به هلیم تبدیل می‌شود. اگر این عدد به‌جای ۰/۰۰۷ برابر ۰/۰۰۶ بود، منجر به تضعیف نیروی هسته‌ای می‌گردید و به‌این‌ترتیب پروتون‌ها و نوترون‌ها به یکدیگر وابسته نمی‌شدند. دوتریم (دارای یک پروتون و یک نوترون)، نمی‌توانست شکل بگیرد و بنابراین عناصر سنگین‌تر هرگز در ستاره‌ها ایجاد نمی‌شدند، اتم‌های بدن ما هرگز شکل نمی‌گرفتند، و کل جهان به هیدروژن تبدیل می‌شد. حتی یک کاهش جزئی در

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

نیروی هسته‌ای، منجر به ایجاد ناپایداری در جدول تناوبی عناصر می‌گردید و آنگاه عناصر پایدار کم‌تری برای شکل‌گیری حیات وجود داشتند.

اگر اپسیلون برابر ۰/۰۰۸ می‌بود، آنگاه همجوشی چنان سریع صورت می‌گرفت که هیچ هیدروژنی از انفجار بزرگ باقی نمی‌ماند و امروزه ستاره‌ای وجود نداشت که به سیارات انرژی بدهد. یا شاید دو پروتون به یکدیگر وابسته می‌شدند، که این نیز همجوشی در ستارگان را غیرممکن می‌ساخت. ریس بیان می‌دارد که فرد هویل دریافته بود که حتی یک تغییر کوچک ۴ درصدی در نیروی هسته‌ای، شکل‌گیری کربن را در ستاره‌ها غیرممکن ساخته و به‌این‌ترتیب ایجاد عناصر بالاتر و در نتیجه حیات را منتفی کرد. هویل دریافت که تغییر بسیار کمی در نیروی هسته‌ای باعث می‌شود که برلیم چنان ناپایدار باشد که هرگز نتواند پلی برای شکل‌گیری اتم‌های کربن گردد.

دومین عدد N است؛ برابر با 10^{36}، که برابر است با قدرت نیروی الکتریکی تقسیم بر قدرت گرانش. این عدد نشان می‌دهد گرانش تا چه حد ضعیف است. اگر گرانش حتی از این هم ضعیف‌تر می‌بود، آنگاه ستارگان نمی‌توانستند متراکم شده و دماهای زیاد مورد نیاز برای همجوشی را ایجاد کنند. بنابراین ستارگان نمی‌درخشیدند، و سیارات به‌درون سیاهی سردی فرو می‌رفتند.

اما اگرگرانش کمی قوی‌تر می‌بود باعث می‌شد که ستارگان بسیار سریع داغ شوند و سوخت خود را چنان سریع بسوزانند که حیات هرگز فرصت آغاز پیدا نکند. همچنین گرانش قوی‌تر به این معنی است که کهکشان‌ها زودتر شکل گرفته و بنابراین کوچک‌تر باشند. در این صورت ستارگان متراکم‌تر بوده و برخوردهای فاجعه‌باری بین ستارگان و سیارات مختلف رخ می‌داد.

سومین عدد اُمگا (Ω) است؛ چگالی نسبی جهان. اگر امگا خیلی کوچک می‌بود، آنگاه جهان بسیار سریع منبسط شده و خنک می‌شد. ولی اگر امگا خیلی بزرگ می‌بود، جهان قبل از اینکه حیات فرصت شروع پیدا کند از هم فرو می‌پاشید. ریس می‌نویسد: «برای اینکه جهان، هم‌اکنون پس از ۱۰ میلیارد سال، هنوز در حال انبساط بوده و مقدار امگا نیز زیاد با ۱ تفاوت

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

نداشته باشد، این مقدار نمی‌توانسته در یک ثانیه پس از انفجار بزرگ، بیشتر از مقدار یک میلیون میلیاردم (یک در 10^{15}) با ۱ تفاوت داشته باشد.»

چهارمین عدد لاندا (λ) است، ثابت کیهانی که سرعت جهان را تعیین می‌کند. اگر این عدد تنها به مقدار کمی بزرگ‌تر بود، نیروی ضد گرانشی که ایجاد می‌کرد، جهان از هم می‌پاشید و سریعاً به یک حالت انجماد بزرگ فرو می‌رفت که در نتیجه حیات را غیرممکن می‌ساخت. اما اگر ثابت کیهانی عددی منفی می‌بود، جهان به شدت متراکم شده و قبل از اینکه حیات شکل بگیرد دچار فروپاشی بزرگ می‌گردید. به بیان دیگر ثابت کیهانی، مثل امگا، نیز باید درون یک ناحیه باریک معین باشد تا حیات را امکان‌پذیر سازد.

عدد پنجم Q است. دامنه اختلالات موجود در تابش ریزموج پس‌زمینه، که برابر 10^{-5} است. اگر این عدد کمی کوچک‌تر از این بود، آنگاه جهان به شدت یکنواخت می‌بود؛ توده بی‌جانی از گاز و غبار، که هرگز به شکل ستارگان و کهکشان‌های امروزی در نمی‌آمد. در این‌صورت جهان، تاریک، یکنواخت، بی‌معنی و عاری از حیات بود. اگر Q بزرگ‌تر از این مقدار می‌بود، آنگاه در تاریخ جهان، ماده زودتر به شکل ساختارهای بزرگ اَبَرکهکشانی متراکم می‌گردید. ریس می‌گوید: «مقادیر زیاد ماده، به شکل سیاهچاله‌های بزرگ متراکم می‌شدند.» این سیاهچاله‌ها از یک خوشه کهکشانی کامل نیز سنگین‌تر می‌شدند. ستارگانی که در این خوشه بزرگ گازی شکل بگیرند، چنان محکم به‌هم فشرده می‌شوند که وجود سیستم‌های سیاره‌ای را غیرممکن می‌سازند.

آخرین عدد D است؛ تعداد ابعاد فضا. فیزیکدانان به‌دلیل علاقه به نظریه M، به این سوآل پرداخته‌اند که آیا حیات در ابعاد بالاتر یا پایین‌تر امکان‌پذیر هست یا نه. اگر فضا یک بعدی باشد، احتمالاً حیات نمی‌تواند وجود داشته باشد، زیرا در این صورت محتویات جهان چیز قابل توجهی نخواهد بود. اغلب زمانی که فیزیکدانان تلاش می‌کنند نظریه کوانتوم را به جهان‌های یک بعدی اعمال کنند، می‌بینیم که ذرات بدون هیچ برهم‌کنشی از یکدیگر عبور می‌کنند. بنابراین می‌توان گفت که جهان‌هایی که در یک بعد وجود دارند،

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

نمی‌توانند حیات داشته باشند، زیرا ذرات در آن‌ها نمی‌توانند برای ایجاد اشیاء مرکب به یکدیگر بچسبند.

در فضاهای دو بعدی نیز با این مشکل مواجه هستیم که احتمالاً شکل‌های مختلف حیات در این فضا در نهایت متلاشی یا تجزیه می‌شوند. گونه‌ای از موجودات تخت دو بعدی را، به نام سطح نشینان، در نظر بگیرید که بر روی سطح یک میز زندگی می‌کنند. تصور کنید آن‌ها چگونه برای خوردن تلاش می‌کنند. مسیری که از دهان به پشت آن‌ها امتداد یافته است، بدن سطح نشین را به دو نیم تقسیم می‌کند و به‌این‌ترتیب او متلاشی خواهد شد. بنابراین تصور این مسئله مشکل است که یک سطح نشین بتواند به صورت یک موجود پیچیده، بدون اینکه تجزیه یا متلاشی شود، به زندگی خود ادامه دهد.

استدلال دیگری در علم زیست‌شناسی وجود دارد که نشان می‌دهد هوش نمی‌تواند در کم‌تر از سه بعد وجود داشته باشد. مغز ما، حاوی تعداد زیادی سلول‌های عصبی هم پوشان است که از طریق یک شبکه الکتریکی گسترده به‌هم متصل هستند. اگر جهان یک یا دو بعدی می‌بود، آنگاه ایجاد شبکه عصبی پیچیده مشکل می‌نمود. مخصوصاً در حالتی که با قرار دادن آن‌ها بر روی یکدیگر اتصال کوتاه رخ می‌دهد. در ابعاد کم‌تر، ما شدیداً از نظر تعداد مدارات منطقی پیچیده و سلول‌های عصبی که می‌توانیم در مساحت کوچکی جای دهیم دچار محدودیت هستیم. به‌عنوان مثال، مغز خود ما از ۱۰۰ میلیارد سلول عصبی تشکیل شده است ــ در حدود تعداد ستارگان کهکشان راه شیری ــ که هرکدام از سلول‌ها به حدود ۱۰،۰۰۰ سلول عصبی دیگر متصل هستند. تکثیر این پیچیدگی در ابعاد پایین‌تر مشکل خواهد بود.

در فضای چهار بعدی، مشکل دیگری وجود دارد: سیارگان، دیگر در مدارات خود به‌دور خورشید پایدار نیستند. قانون جذر معکوس نیوتون با قانون مکعب معکوس جایگزین می‌شود. در سال ۱۹۱۷، پل اِرنفست، یکی از همکاران نزدیک اینشتین به بررسی این مسئله که فیزیک در ابعاد دیگر چه شکلی می‌تواند داشته باشد پرداخت. او معادله پواسون ـ لاپلاس (مربوط به

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

حرکت اجرام سیاره‌ای و همین‌طور بارهای الکتریکی در اتم) را مورد بررسی قرار داد و دریافت که مدارها در ابعاد فضایی چهار یا بیشتر پایدار نیستند. از آنجا که الکترون‌ها در اتم‌ها درست همانند سیارات، با برخوردهای تصادفی مواجه هستند، اتم‌ها و همچنین منظومه‌های خورشیدی احتمالاً نمی‌توانند در ابعاد بالاتر وجود داشته باشند. به بیان دیگر عدد سه، در ابعاد فضایی، عددی ویژه است.

از نظر ریس، اصل انسانی یکی از مستدل‌ترین دلایل برای وجود جهان چندگانه است. به همان ترتیب که وجود نواحی گولدیلاکس برای کره زمین، وجود سیارات غیرخورشیدی دیگر را نشان می‌دهد، وجود مناطق گولدیلاکس برای جهان نیز نشان‌دهنده وجود جهان‌های موازی است. ریس اینگونه توضیح می‌دهد: «در صورتیکه انبوهی از لباس داشته باشید، تعجب نمی‌کنید اگر از بین آن‌ها بلوزی را بیابید که دقیقاً اندازه شما باشد. اگر جهان‌های زیادی وجود داشته باشند که در هرکدام مجموعه متفاوتی از اعداد حاکم باشند، حتماً در یکی از آن‌ها مجموعه‌ای از اعداد حاکم خواهند بود که مناسب برای حیات باشند. ما در آن جهان هستیم.» به بیان دیگر جهان ما، تنها به‌دلیل قانون میانگین حاکم بر جهان‌های متعدد موجود در جهان چندگانه، به این شکل است و نه به‌دلیل یک تدبیر بزرگ.

به‌نظر می‌رسد واینبرگ با این نظر موافق باشد. در حقیقت ایده جهان‌های چندگانه، از نظر منطقی به‌نظر او خوشایند می‌آید. او هرگز موافق این ایده نبود که زمان، بتواند ناگهان در انفجار بزرگ به عرصه وجود وارد شود و اینکه زمان، قبل از آن وجود نداشته است. در یک جهان چندگانه، ما با پیدایش مکرر جهان‌ها مواجه هستیم.

دلیل دیگری وجود دارد که ریس ایده جهان‌های چندگانه را ترجیح می‌دهد. او دریافته است که جهان دارای مقادیر کمی «زشتی» است. به‌عنوان مثال مدار زمین کمی بیضی است. اگر دقیقاً کروی بود، ممکن بود همان‌طور که خداشناسان بیان می‌کنند گفته شود که این نتیجه دخالت خداگونه است. اما اینگونه نیست و تنها نشان‌دهنده مقادیر مشخصی بی‌نظمی در ناحیه باریک گولدیلاکس است. به‌طور مشابه، ثابت کیهانی دقیقاً برابر صفر نیست، بلکه

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

بسیار کوچک است. این نشان می‌دهد که جهان ما: «استثنایی‌تر از آن چیزی که وجود ما نیاز دارد نیست.» تمام این‌ها با این مسئله سازگاری دارند که جهان ما پیشامدی تصادفی است.

سیر تکاملی جهان‌ها

ریس، که بیشتر یک ستاره‌شناس بود تا یک فیلسوف، بیان می‌کند برای دستیابی به یک نتیجه نهایی، تمام این نظریه‌ها باید مورد آزمایش قرار گیرند. در حقیقت این همان دلیلی است که او به خاطر آن به ایده جهان‌های چندگانه التفات بیشتری نشان می‌دهد. به عقیده او، نظریه جهان چندگانه در طول بیست سال آینده سرانجام می‌تواند مورد آزمایش قرار گیرد.

در حقیقت یکی از اشکال مختلف ایده جهان چندگانه را امروز نیز می‌توان مورد آزمایش قرار داد. فیزیکدانی به نام لی اسمولین، حتی از ریس نیز فراتر رفته و اینگونه می‌پندارد که جهان‌ها پس از عبور از سیر تکاملی خود، درست مثل تکامل داروین، به این جهان که ما در آن زندگی می‌کنیم رسیده‌اند. به‌عنوان مثال در نظریه تورم پرآشوب[1]، ثابت فیزیکی جهان‌های «دختر»، با ثابت فیزیکی جهان مادر کمی متفاوت است. اگر جهان‌ها بتوانند همان‌طور که برخی فیزیکدانان معتقدند از سیاهچاله‌ها جوانه بزنند، آنگاه جهان‌های غالب در جهان چندگانه، آن‌هایی خواهند بود که بیشترین سیاهچاله را دارند. این بدان معناست که درست مثل جهان جانوران، جهان‌هایی که بیشترین «فرزند» را به‌وجود می‌آورند، در نهایت به‌منظور گسترش و انتشار «اطلاعات ژنتیکی» خود ــ محتویات فیزیکی طبیعت ــ زنده می‌مانند. اگر این حقیقت داشته باشد، آنگاه جهان ما باید در گذشته تعداد نامحدودی جهان‌های اجدادی داشته و جهان ما نتیجه تریلیون‌ها سال انتخاب طبیعی باشد. به بیان دیگر، جهان ما محصول فرعی بقای اصلح است. به این معنی که جهان ما، فرزند جهان‌هایی با بیشترین تعداد سیاهچاله است.

---

1. Chaotic inflation

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

اگرچه به‌کارگرفتن سیر تکاملی داروین در بین جهان‌ها ایده‌ای عجیب و نو است، اسمولین عقیده دارد که صحت این ایده را می‌توان تنها با شمردن تعداد سیاهچاله‌ها مورد آزمایش قرار داد. جهان ما باید مساعدترین گزینه برای ایجاد سیاهچاله‌ها باشد. (با این حال هنوز این مسئله اثبات نشده باقی می‌ماند که آیا جهان‌هایی با بیشترین تعداد سیاهچاله، آن‌هایی هستند که برای حیات مناسب‌اند (مثل جهان ما) یا نه.)

از آنجا که این ایده قابل آزمون است، مثال‌های نقض قابل توجه است. به‌عنوان نمونه، شاید بتوان از طریق تنظیم فرضی پارامترهای فیزیکی جهان نشان داد سرعت ایجاد سیاهچاله‌ها، در جهان‌هایی که فاقد حیات هستند، از همه بیشتر است. شاید بتوان نشان داد جهانی با نیروی هسته‌ای بسیار بزرگ‌تر، ستارگانی دارد که بسیار سریع می‌سوزند و تعداد زیادی ابرنواختر ایجاد می‌کند که در مرحله بعد به سیاهچاله‌ها تبدیل می‌شوند. در چنین جهانی مقدار بزرگ‌تر نیروی هسته‌ای به این معنی است که ستارگان عمر کوتاهی دارند و بنابراین حیات فرصت شکل‌گیری نمی‌یابد. اما با این حال، این جهان می‌تواند سیاهچاله‌های بیشتری داشته باشد که به این وسیله ایده اسمولین رد می‌شود. نکته مثبت این ایده این است که می‌تواند مورد آزمایش قرار گرفته، تایید یا ابطال (نشانه‌ای برای هر نظریه علمی صحیح) شود. زمان خواهد گفت آیا این ایده پا بر جا میماند یا نه.

اگرچه هر نظریه‌ای که با کرمچاله‌ها، آبَرریسمان‌ها، و ابعاد بالاتر سر و کار داشته باشد، فراتر از قابلیت‌های آزمایشگاهی فعلی ماست، با این حال در حال حاضر آزمایش‌های جدیدی در حال انجام هستند یا حتی برای آینده برنامه‌ریزی شده‌اند که ممکن است روزی بتوانند صحت این نظریات را تعیین کنند. هم‌اکنون با در دست داشتن قدرت کامل ماهواره‌ها، تلسکوپ‌های فضایی، آشکارسازهای موج گرانش، و لیزرها، در قلب انقلابی در علوم آزمایشگاهی به سر می‌بریم. ماحصل این آزمایش‌ها به خوبی می‌توانند به برخی از عمیق‌ترین پرسش‌های کیهان‌شناسی پاسخ دهند.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

فصل ۹
در جستجوی شواهدی از بعد یازدهم

ادعای جالب توجه، نیازمند اثبات جالب توجه است.
ـ کارل ساگان

جهان‌های موازی، بُعد گذرها و ابعاد بالاتر، به همان اندازه که جالب توجه هستند، نیازمندند که وجودشان به‌طور قطعی اثبات شود. ستاره‌شناسی به نام کن کراسوِل می‌گوید: «جهان‌های دیگر می‌توانند هوش‌ربا باشند: تا زمانی‌که ستاره‌شناسان آن‌ها را مشاهده نکرده‌اند، آنچه بخواهید می‌توانید درباره این جهان‌ها بگویید و هرگز عدم صحت گفته‌هایتان ثابت نشود.» سابق بر این، آزمودن بسیاری از این پیشگویی‌ها به‌دلیل ابتدایی بودن تجهیزات آزمایشگاهی نومیدانه به‌نظر می‌رسید. اما با پیشرفت‌های اخیر در زمینه رایانه، لیزر و فناوری ماهواره‌ای، بسیاری از این نظریه‌ها در معرض بررسی آزمایشگاهی قرار گرفته‌اند.

بررسی صحت این ایده‌ها به‌طور مستقیم ممکن است فوق‌العاده مشکل باشد، اما اثبات آن‌ها به روش‌های غیرمستقیم، در دسترس ما است. گاهی از یاد می‌بریم که بخش عمده علم ستاره‌شناسی به روش غیرمستقیم محقق شده است. تاکنون کسی خورشید یا دیگر ستارگان را از نزدیک مشاهده نکرده است، با این‌حال ما از طریق تجزیه و تحلیل تابش این اجسام نورانی به

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

ماهیت آن‌ها پی برده‌ایم. با تحلیل طیف نور ستارگان دریافته‌ایم که ستارگان عمدتاً از هیدروژن و مقداری هلیم ساخته شده‌اند.

به طریق مشابه، هیچ‌کس تا به حال یک سیاهچاله را مشاهده نکرده است، چون در اصل آن‌ها به‌طور مستقیم غیر قابل دیدن هستند. ولی با جستجوی قرص‌های برافزایشی و محاسبه جرم این ستارگان خاموش، ما شواهد غیرمستقیمی دال بر وجود آن‌ها به‌دست می‌آوریم. در تمامی این آزمایش‌ها به‌دنبال شواهدی از ستارگان و سیاهچاله‌ها به منظور تعیین ماهیت آن‌ها هستیم. به‌همین ترتیب، بعد یازدهم ممکن است فراسوی دسترسی مستقیم ما به‌نظر برسد، اما راه‌هایی هستند که در آن‌ها با استفاده از ابزارهای جدید تحول‌آفرینی که اکنون در دسترس داریم، امکان اثبات نظریه‌هایی چون تورم و ابر ریسمان‌ها فراهم آمده است.

GPS و نسبیت

ساده‌ترین نمونه تاثیری که ماهواره‌ها روی پژوهش‌های مربوط به نسبیت بر جای نهادند، سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) است که در آن مجموعه‌ای از ۲۴ ماهواره که پالس‌های دقیق و هماهنگی گسیل می‌کنند، این امکان را فراهم آورده‌اند تا از طریق مثلث‌بندی، موقعیت فرد روی زمین با دقت تعیین شود. GPS اکنون برای ناوبری، تجارت و جنگ ضروری است. تمام وسایل، از نقشه‌های رایانه‌ای داخل اتومبیل گرفته تا موشک‌های هدایت شونده، به قدرت هم‌زمان‌سازی سیگنال‌ها در حد پنجاه میلیاردم ثانیه نیاز دارند تا موقعیت جسمی را روی زمین با دقت ۱۵ متر تعیین کنند. اما برای تضمین چنین دقتی، دانشمندان می‌بایست تصحیحات ظریف نسبیتی بر قوانین نیوتون انجام دهند. نسبیت بیان می‌دارد که امواج رادیویی ماهواره‌ها حین گردش به دور زمین، اندکی تغییر فرکانس می‌دهند. در واقع اگر تصحیحات نسبیتی را ساده‌لوحانه کنار بگذاریم، ساعت‌های GPS هر روز یک ۴۰,۰۰۰ میلیاردم ثانیه جلو خواهند رفت و در نتیجه کل سیستم فاقد اعتبار خواهد شد. بنابراین نظریه نسبیت برای مقاصد تجاری و نظامی مطلقاً ضروری

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

است. فیزیکدانی به نام کلیفورد ویل که اولین‌بار یک ژنرال نیروی هوایی ایالات متحده را از لزوم اصلاحات نسبیتی در GPS مطلع کرد، یکبار گفت که بلوغ نظریه نسبیت وقتی رخ داد که حتی مقامات بلندپایه پنتاگون هم باید با آن آشنا می‌شدند.

آشکارسازهای امواج گرانشی

تا امروز تقریبا آنچه از ستاره‌شناسی می‌دانیم با بررسی امواج الکترومغناطیسی به‌دست آمده است: به شکل نور ستارگان، امواج رادیویی و تابش ریز موج اعماق فضا. هم‌اکنون دانشمندان نخستین ابزار جدید اکتشاف علمی را معرفی می‌کنند که عبارت است از خودِ گرانش. گری ساندرز، از کلتک و معاون مدیر پروژه موج گرانشی می‌گوید: «هر گاه به طریقی تازه به آسمان نگریسته‌ایم، جهانی تازه مشاهده کرده‌ایم.»

اینشتین بود که در سال ۱۹۱۶، اولین‌بار وجود امواج گرانش را مطرح کرد. در نظر آورید ناپدید شدن خورشید چه پیامدهایی خواهد داشت. مثال افتادن توپ بولینگ روی تشک را به خاطر دارید؟ تمثیل بهتر تور آکروبات را چه طور؟ اگر توپ به‌طور ناگهانی برداشته شود، تور آکروبات به سرعت به حالت اولیه برگشته موجی ایجاد می‌کند که در سطح تور منتشر می‌شود. اگر توپ بولینگ را خورشید فرض کنیم، شاهد حرکت موج گرانشی با سرعت معینی برابر سرعت انتشار نور خواهیم بود.

گرچه اینشتین بعدها پاسخی دقیق برای معادلاتش یافت که امواج گرانشی را مجاز می‌شمرد، اما هیچ‌گاه اثبات پیشگویی‌هایش را ندید. امواج گرانش فوق‌العاده ضعیف هستند. حتی امواج ناگهانی حاصل از تصادم ستارگان نیز آنقدر قوی نیستند که بتوان آن‌ها را در آزمایش‌ها کنونی اندازه‌گیری کرد.

امروزه امواج گرانشی تنها به شیوه غیرمستقیم آشکار شده‌اند. دو فیزیکدان به نام‌های راسل هالس و جوزف تیلور، بر این گمانند که بررسی ستارگان دوتایی نوترونی که در فضا دور هم می‌چرخند، نشان می‌دهد که هر ستاره، جریانی از امواج گرانشی را گسیل می‌کند، شبیه به‌هم زدن مَلاس، و

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

مدارشان به آهستگی تحلیل می‌رود. آن‌ها حرکت دو ستاره نوترونی رو به زوال را که به صورت مارپیچی به تدریج به‌هم نزدیک می‌شدند، بررسی کردند. این دو فیزیکدان تحقیقات‌شان را بر ستاره دوتایی نوترونی PSR 1913+16 متمرکز کردند که تقریباً ۱۶,۰۰۰ سال نوری از زمین فاصله دارند، هر ۷ ساعت و ۴۵ دقیقه یکبار دور هم می‌چرخند و در این فرآیند امواج گرانشی به فضا گسیل می‌کنند.

آن‌ها با استفاده از نظریه اینشتین دریافتند که دو ستاره در هر دور کامل باید یک میلیمتر به‌هم نزدیک‌تر شوند. گرچه این فاصله بسیار اندک است، اما طی یک سال به یک متر می‌رسد و طول ۷۰۰,۰۰۰ کیلومتری مدار آن‌ها را به تدریج کاهش می‌دهد.

این کار پیشرو نشان داد که مدار، دقیقاً مطابق پیش‌بینی اینشتین بر پایه امواج گرانشی، تحلیل می‌رود. (معادلات اینشتین پیش‌بینی می‌کنند که دو ستاره به‌دلیل اتلاف انرژی گسیل شده در فضا به شکل امواج گرانشی، در نهایت بعد از ۲۴۰ میلیون سال به‌هم برخورد خواهند کرد.) آن‌ها در سال ۱۹۹۳ برای کارهای‌شان برنده جایزه نوبل فیزیک را شدند.

همچنین می‌توانیم به عقب برگردیم و از این آزمایش دقیق برای سنجش دقت خود نسبیت عام استفاده کنیم. پس از انجام محاسبات معکوس، درمی‌یابیم که دقت نسبیت عام دست‌کم ۹۹/۷ درصد است.

آشکارساز امواج گرانشی لیگو[1]

برای به‌دست آوردن داده‌های سودمند در رابطه با جهان ابتدایی باید امواج گرانشی را مستقیماً رصد کرد، نه غیرمستقیم. در سال ۲۰۰۳، اولین آشکارساز عملیاتی موج گرانشی که لیگو (رصد خانه موج گرانشی با تداخل سنج لیزری) نام دارد، سرانجام به‌کار افتاد و رویای دیرین کاوش در اسرار جهان به وسیله امواج گرانش را تحقق بخشید. هدف لیگو آشکارسازی

1. LIGO (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory)

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

رخدادهای کیهانی مانند برخورد سیاهچاله‌ها یا ستارگان نوترونی است که برای رصد با تلسکوپ‌های زمینی بسیار دور یا خیلی کوچکند.

لیگو شامل دو مجموعه تاسیسات لیزری غول‌پیکر است که یکی در هانفورد واقع در واشنگتن و دیگری در لیوینگ اِستون پَریش واقع در لوئیزیانا قرار دارد. هر مجموعه دو لوله دارد؛ هریک به طول ۴ کیلومتر که شکل L بسیار بزرگی را تشکیل می‌دهند. داخل هر لول یک لیزر روشن می‌شود. در محل تقاطع L، دو اشعه لیزر به‌هم برخورد می‌کنند و امواج‌شان تداخل می‌کند. در حالت عادی وقتی اختلالی وجود ندارد، دو موج طوری بر هم منطبق می‌شوند که یکدیگر را حذف کنند. اما هنگامی که حتی ضعیف‌ترین موج گرانشی ساطع شده از برخورد سیاهچاله‌ها یا ستارگان نوترونی به دستگاه اصابت کند، منجر به انقباض و انبساط متفاوت در دو انشعاب لوله می‌شود. کافی است این اعوجاج رخ دهد تا حذف پرتوهای لیزر توسط یکدیگر مختل شود. در نتیجه، دو پرتوی لیزر به جای حذف یکدیگر، یک الگوی تداخلی موج مانند مخصوص ایجاد می‌کنند که جزء به جزء با رایانه قابل تحلیل است. هرچه موج گرانشی شدیدتر باشد، انطباق دو پرتو لیزر کم‌تر می‌شود و الگوی تداخلی گسترده‌تری خواهیم داشت.

لیگو یک اعجاز مهندسی است. از آنجا که مولکول‌های هوا ممکن است نور لیزر را جذب کنند، باید خلائی معادل یک تریلیونیم فشار جو در لوله‌های عبور دهنده نور ایجاد شود. هرآشکارساز فضایی بالغ بر ۹۰,۰۰۰ متر مکعب را اشغال می‌کند؛ و این یعنی لیگو بزرگ‌ترین خلأ مصنوعی در دنیاست. بخشی از حساسیت لیگو به‌دلیل طراحی آینه‌های آن است که با ۶ آهن‌ربای کوچک، هر یک به اندازه یک مورچه، کنترل می‌شوند. سطح آینه‌ها بسیار صیقلی است؛ با دقت ۱۲ میلیاردم سانتی‌متر. گاریلین بیلینگزلی که بر آینه‌ها نظارت دارد، می‌گوید: «زمین را به اندازه آینه‌ها صیقلی تصور کنید. در این صورت میانگین ارتفاع کوه‌ها بیش از ۳ سانتی‌متر نخواهد بود.» آینه‌های لیگو آنقدر حساسند که می‌توان آن‌ها را کم‌تر از یک میلیونیم متر حرکت داد. آن‌ها شاید حساس‌ترین آینه‌ها در جهان باشند. یکی از دانشمندان لیگو به نام

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

مایکل زوکر می‌گوید: «بیشتر مهندسان کنترل و ابزار دقیق، با شنیدن آنچه سعی داریم انجام دهیم، دهان‌شان باز می‌ماند.»

تعادل بدیع لیگو، گاهی با لرزش‌های خفیف و ناخواسته دچار اختلال می‌شود. به‌عنوان مثال آشکارساز لوئیزیانا، در طول روز به‌دلیل لرزش ناشی از قطع درختان در فاصله ۵۰۰ متری قادر به‌کار نیست. حتی شب هنگام، لرزش ناشی از عبور قطارهای باربری در نیمه شب یا ساعت ۶ صبح، مدت زمان کار مداوم لیگو را محدود می‌کند.

حتی لرزشی به خفیفی لرزش حاصل از برخورد امواج اقیانوس به خط ساحلی در فاصله چند کیلومتری بر نتایج تاثیر می‌گذارد. امواج اقیانوس در آمریکای شمالی به‌طور میانگین هر ۶ ثانیه یک بار به ساحل برخورد می‌کنند و این امر صدای بَمی ایجاد می‌کند که عملاً توسط لیزرها دریافت می‌شود. فرکانس این صدا خیلی کم است، طوری که عملاً در زمین نفوذ می‌کند. زوکر درباره این صدای ناشی از امواج می‌گوید: «حس غرولند را القا می‌کند، که سر دردی شدید در طول فصل گردبادهای لوئیزیاناست.» همچنین اثرگرانشی ماه و خورشید روی زمین که منشاء جذر و مد است، در حد چند میلیونیم سانتیمتر در لیگو اختلال ایجاد می‌کند.

برای حذف این اختلالات فوق‌العاده کوچک، مهندسان لیگو راهی طولانی پیموده‌اند تا به بهترین وجه دستگاه را ایزوله کنند. هر سیستم لیزری در راس چهار جایگاه عظیم از جنس فولاد ضد زنگ قرار داده شده که هر کدام روی دیگری گذاشته شده‌اند؛ برای حذف هر گونه لرزش، هر سطح توسط فنرهایی جدا شده است. هر ابزار نوری حساس سیستم ضد لرزش مستقل دارد؛ کف، قطعه‌ای بتنی است به قطر ۸۰ سانتی‌متر که به دیواره‌ها متصل نیست.

لیگو در واقع بخشی از یک کنسرسیم بین‌المللی است شامل آشکارساز فرانسوی ـ ایتالیایی ویرگو (VIRGO) واقع در پیزای ایتالیا، آشکارساز ژاپنی تاما (TAMA) در نزدیکی توکیو و یک آشکارساز انگلیسی ـ آلمانی به نام GEO600 در هانوفر آلمان. هزینه نهایی ساخت لیگو جمعاً ۲۹۲ میلیون دلار خواهد بود (به اضافه ۸۰ میلیون دلار برای حق‌الزحمه‌ها و هزینه‌های ارتقاء)،

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

که گرانترین پروژه‌ای است که بنیاد ملی علم تا به حال تامین مالی کرده است.

اما حتی با چنین حساسیتی بعضی دانشمندان معتقدند که لیگو احتمالاً آنقدر حساس نیست که در طول عمرش پدیده‌های قابل توجهی را به درستی آشکار کند. دستگاه ارتقاء یافته بعدی که لیگو II نام دارد در صورت تامین بودجه در سال ۲۰۰۷ راه‌اندازی خواهد شد. اگر لیگو امواج گرانشی را کشف نکند، پیش‌بینی می‌شود که لیگو II حتما این کار را خواهد کرد. کِنِت لیبِرخ، مهندس لیگو، مدعی است تجهیزات لیگو II، هزار برابر حساس‌تر هستند. وی می‌گوید: «شما از [آشکارسازی] یک پدیده در هر ۱۰ سال، که نسبتاً دردناک است، به یک پدیده در هر ۳ روز می‌رسید که واقعاً عالی است.»

یک دانشمند برای کشف برخورد دو سیاهچاله (در محدوده‌ای به فاصله ۳۰۰ میلیون سال نوری) به‌وسیله لیگو، باید بین یک تا هزار سال انتظار بکشد. بسیاری از ستاره‌شناسان احتمالاً نظرات دیگری در رابطه با جستجوی رویداد فوق به وسیله لیگو دارند، چرا که نوادگان‌شان در چندین نسل بعد شاهد آن خواهند بود. اما همان‌طور که پیتر سالسون، دانشمند لیگو می‌گوید: «افراد از حل این چالش‌های تکنیکی لذت می‌برند، درست مانند سازندگان کلیساهای قرون وسطی که با اینکه می‌دانستند ممکن است هرگز کلیسای تکمیل شده را نبینند، به‌کار خود ادامه می‌دادند. اما اگر می‌دانستم من شانسی برای مشاهده یک موج گرانشی درطول زندگی شغلی خود ندارم، در این رشته فعالیت نمی‌کردم. موضوع فقط تب نوبل نیست... سطح دقتی که برای انجام درست کارمان به خرج می‌دهیم؛ اگر چنین کنید، نتیجه صحیح به‌دست می‌آورید.» با استفاده از لیگو II، شانس ما برای یافتن یک رویداد حقیقتاً جالب در طول زندگی‌مان خیلی بیشتر است. لیگو II شاید برخورد سیاهچاله‌ها را در محدوده خیلی بزرگ‌تری به فاصله ۶ میلیارد سال نوری آشکار کند و میزان آن را از ده سال یکبار به ده روز یکبار برساند.

به هر حال، حتی لیگو II برای کشف امواج گرانشی لحظه تولد جهان، به اندازه کافی قدرتمند نیست. به‌همین دلیل ناچاریم ۱۵ الی ۲۰ سال دیگر منتظر لیزا بمانیم.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

آشکارساز موج گرانشی[1] لیزا (LISA)

لیزا[2] (آنتن فضایی تداخل سنج لیزری) نماینده نسل بعدی آشکارسازهای امواج گرانشی می‌باشد. این دستگاه برخلاف لیگو در فضا مستقر خواهد شد. حوالی سال ۲۰۱۰، ناسا و آژانس فضایی اروپا، ۳ ماهواره به فضا خواهند فرستاد که تقریبا در فاصله ۵۰ میلیون کیلومتری زمین، گرد خورشید خواهند چرخید. این سه آشکارساز لیزری، در فضا مثلثی متساوی الاضلاع تشکیل خواهند داد (طول هر ضلع ۵ میلیون کیلومتر خواهد بود). هر ماهواره دو لیزر خواهد داشت که به آن اجازه می‌دهد پیوسته با دو ماهواره دیگر در ارتباط باشد. با اینکه هر لیزر، باریکه‌ای به قدرت تنها نیم وات شلیک می‌کند، تجهیزات نوری آنقدر حساسند که قادرند لرزش‌های ناشی از امواج گرانشی را با دقتی معادل یک تقسیم بر یک میلیارد تریلیون آشکار کنند (معادل حرکتی برابر یک صدم قطر یک اتم). لیزا باید بتواند امواج گرانشی را از فاصله ۹ میلیارد سال نوری که بیشتر فضای جهان مرئی را شامل می‌شود، آشکار کند.

دقت لیزا به قدری بالاست که می‌تواند امواج ضربه‌ای ناشی از خود انفجار بزرگ را کشف کند. این امر دقیق‌ترین تصویر را از لحظه پیدایش هستی به ما خواهد داد. اگر همه چیز طبق برنامه پیش رود، لیزا باید قادر به بررسی یک تریلیونم ثانیه بعد از انفجار بزرگ باشد و شاید به قوی‌ترین ابزار کیهان‌شناسی تبدیل شود. این باور وجود دارد که لیزا ممکن است قادر به یافتن اولین داده‌های تجربی در مورد ماهیت دقیق نظریه میدان یکپارچه باشد: نظریه همه چیز.

یک هدف مهم لیزا، فراهم آوردن شواهدی قطعی برای نظریه تورم است. تورم با تمام داده‌های کیهان‌شناسی موجود، سازگار است (تختی جهان، افت و خیزهای زمینه کیهانی و غیره). اما این بدان معنی نیست که نظریه صحیح است. دانشمندان می‌خواهند برای سنجش قطعی آن، امواج گرانشی ناشی از

1. Gravity Wave detector

2. LISA (Laser Interferometry Space Antenna)

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

خود فرایند تورم را آزمایش کنند. «انگشت نگاری» از امواج گرانشی پدید آمده در لحظه انفجار بزرگ، باید تفاوت میان تورم و هر نظریه رقیب را بیان کند. برخی افراد مانند کیپ تورن از کلتک، بر این باورند که امکان دارد لیزا بتواند بگوید برخی نسخه‌های نظریه ریسمان صحیح هستند. همان‌طور که در فصل ۷ توضیح دادم، نظریه جهان تورمی پیش‌بینی می‌کند که امواج گرانشی برآمده از انفجار بزرگ باید خیلی شدید و متناظر با گسترش سریع و نمایی جهان ابتدایی باشند، درحالی‌که مدل اِکپیروتیک گسترش آرام‌تری را به‌همراه امواج گرانشی بسیار خفیف‌تر پیش‌بینی می‌کند. لیزا باید قادر به حذف نظریات رقیبِ انفجار بزرگ و آزمایش قاطع نظریه ریسمان باشد.

حلقه‌ها و عدسی‌های اینشتین

استفاده از عدسی‌های گرانشی و «حلقه‌های اینشتین»، در حال حاضر ابزار قدرتمند کاوش در کیهان است. ستاره‌شناسی از برلین به نام جان جرج وُن سِلدنِر، در سال ۱۸۰۱ توانست انحراف نور ستارگان توسط گرانش خورشید را محاسبه کند (گرچه سلدنر بی‌کم و کاست از استدلال‌های نیوتون استفاده کرد، اما یک ضریب اساسی برابر ۲ کم داشت. اینشتین نوشت: «نیمی از این انحراف نور، توسط میدان نیوتونی گرانش خورشید ایجاد می‌شود و نیم دیگر آن به‌دلیل تغییر هندسی [انحناء] فضا توسط خورشید، رخ می‌دهد.»)

اینشتین در سال ۱۹۱۲، حتی پیش از آن که نسخه نهایی نسبیت عام را تکمیل کند، احتمال استفاده از این اثر به‌عنوان یک «عدسی» را در نظر گرفت؛ درست مانند حالتی که عینک، نور را قبل از رسیدن به چشم شما خم می‌کند. در سال ۱۹۳۶، یک مهندس چک به نام رودی ماندِل، کتباً از اینشتین پرسید که آیا یک عدسی گرانشی می‌تواند نور ستاره نزدیکش را تقویت کند. پاسخ مثبت بود، اما آشکارسازی آن فراتر از سطح فناوری آنان بود.

مشخصاً، اینشتین دریافت که می‌توان خطاهای دید، مانند تصویر دوگانه از جسم واحد یا اعوجاج حلقوی نور را مشاهده کرد. به‌عنوان مثال، نور یک کهکشان بسیار دور حین عبور از کنار خورشید، از هردو سمت چپ و راست

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

خورشید ما می‌گذرد و به چشم می‌رسد. هنگامی که به یک کهکشان دوردست می‌نگریم، الگویی حلقوی می‌بینیم که خطای دید ناشی از نسبیت عام است. اینشتین نتیجه گرفت که: «امید چندانی برای مشاهده مستقیم این پدیده» وجود ندارد. در واقع نوشت که این‌کار: «ارزش کمی دارد، اما مرد بیچاره [ماندل] را خوشحال می‌کند.»

چهل سال بعد، در سال ۱۹۷۹، اولین مدرک در تایید عدسی گرانشی با کشف اختروش دوتایی Q0957+561 توسط دِنیس والش از رصدخانه جُردِل بانک انگلستان پیدا شد. اولین حلقه اینشتین در سال ۱۹۸۸ از منبع رادیویی MG1131+0465 رصد شد. در سال ۱۹۹۷، تلسکوپ فضایی هابل و آرایه تلسکوپ رادیویی بریتانیایی مِرلین، اولین حلقه کاملاً دایره‌ای اینشتین را از طریق بررسی کهکشان دوردست 666+1938 شکار کردند و نظریه اینشتین بار دیگر تایید شد. (این حلقه خیلی کوچک است، تنها یک ثانیه قوس، تقریباً به اندازه سکه‌ای که از فاصله سه کیلومتری دیده شود.) یان براون از دانشگاه منچستر، هیجان ستاره‌شناسان را هنگام مشاهده این واقعه تاریخی، اینگونه توصیف کرده است: «در اولین نگاه، مصنوعی به‌نظر می‌رسید و فکر کردیم اشکالی در تصویر پیش آمده است، ولی سپس دریافتیم که یک حلقه کامل اینشتین را مشاهده می‌کنیم!» امروزه حلقه‌های اینشتین سلاحی ضروری در زرادخانه اخترفیزیکدانان است. در حدود ۶۴ اختروش دوتایی، سه تایی و چند تایی (خطای‌دید ناشی از عدسی‌های اینشتین) در فضا مشاهده شده‌اند؛ تقریباً یکی از هر ۵۰۰ اختروش مشاهده شده.

حتی اشکال نامرئی ماده مانند ماده تاریک، با بررسی انحرافی که در امواج نوری ایجاد می‌کنند، «قابل رویت» هستند. به‌این‌ترتیب، می‌توان نقشه توزیع ماده تاریک را در جهان به‌دست آورد. از آنجا که عدسی‌های اینشتین شکل ظاهری خوشه‌های کهکشانی را با ایجاد کمان‌های بزرگ (به‌جای حلقه‌ها) تغییر می‌دهند، امکان تخمین تمرکز اجسام تیره در این خوشه‌ها وجود دارد. در سال ۱۹۸۶ اولین کمان کهکشانی عظیم در رصدخانه ملی ستاره‌شناسی نوری واقع در دانشگاه اِستنفورد و رصدخانه میدی-پیرِنیس

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

فرانسه، توسط ستاره‌شناسان کشف شد. تابحال، تقریباً صد کمان کهکشانی کشف شده‌اند که چشمگیرترین آن‌ها متعلق به خوشه کهکشانی Abell 2218 است.

عدسی‌های اینشتین همچنین می‌توانند به‌عنوان شیوه‌ای مستقل برای اندازه‌گیری مقدار ماخوها در جهان (که از ماده معمولی مانند ستارگان خاموش، کوتوله‌های قهوه‌ای و ابرهای گرد و غبار تشکیل شده‌اند) به‌کار گرفته شوند. در سال ۱۹۸۶ بودان پازینسکی از پرینستون دریافت که اگر ماخوها از مقابل ستاره‌ای عبور کنند، درخشندگی آن را افزایش می‌دهند و تصویری ثانویه به‌وجود می‌آورند.

در اوایل دهه ۱۹۹۰، گروه‌های متعددی از دانشمندان (از جمله گروه فرانسوی اِرو، گروه آمریکایی ـ استرالیایی ماخو و گروه آمریکایی ـ لهستانی اوگل) این شیوه را در مورد مرکز کهکشان راه شیری به‌کار بردند و بیش از ۵۰۰ رویداد ریز عدسی گرانشی یافتند (بیش از حد انتظار، زیرا برخی شامل ستارگانی کم جرم بودند و نه ماخوهای حقیقی). همین روش را می‌توان برای یافتن سیاره‌های فرا خورشیدی در مدار دیگر ستارگان، به‌کار برد. از آنجا که سیاره‌ها بر نور ستاره‌های مادر اثر گرانشی کوچک اما قابل توجه‌ای دارند، عدسی‌های اینشتین اصولاً می‌توانند آن‌ها را بیابند. این شیوه تاکنون تعدادی نامزد سیاره فراخورشیدی را معرفی کرده است که برخی از آن‌ها در نزدیکی مرکز کهکشان راه شیری قرار دارند.

حتی ثابت هابل و ثابت کیهان‌شناسی را می‌توان با استفاده از عدسی‌های اینشتین اندازه‌گیری کرد. ثابت هابل با انجام یک رصد زیرکانه اندازه‌گیری می‌شود. درخشندگی اختروش‌ها در طول زمان نوسان می‌کند؛ ممکن است انتظار رود اختروش‌های دوتایی که تصویر جسم واحدی هستند، شبیه هم نوسان کنند. عملاً نوسان این اختروش‌های دوقلو به‌طور کامل هماهنگ نیست. با استفاده از توزیع شناخته شده ماده، ستاره‌شناسان می‌توانند نسبت زمان تاخیر به کل زمان رسیدن نور به زمین را محاسبه کنند. با اندازه‌گیری زمان تاخیر در درخشندگی اختروش‌های دوتایی، می‌توان فاصله آن را از

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

زمین حساب کرد. با داشتن انتقال به سرخ اختروش، می‌توان ثابت هابل را حساب کرد. (این روش در مورد اختروش Q0957+561 که در فاصله ۱۴ میلیارد سال نوری از زمین کشف شده بود، اعمال شد. از آن پس، ثابت هابل با تحلیل هفت اختروش دیگر محاسبه شده است. با احتساب خطا، این محاسبات با نتایج شناخته شده مطابقت دارند. جالب توجه است که این شیوه، برخلاف متغیرهای قیفاووسی و ابرنواختر نوع Ia، کاملا از درخشندگی ستارگان مستقل است و روشی مستقل برای تطبیق نتایج به‌دست می‌دهد.)

همچنین، ثابت کیهانی که تعیین‌کننده آینده جهان ما است، با این شیوه قابل اندازه‌گیری است. محاسبه کمی ابتدایی است، اما هم‌چنان با دیگرروش‌ها مطابقت دارد. از آنجاکه حجم جهان میلیاردها سال پیش کم‌تر بوده است، احتمال وجود اختروش‌هایی که عدسی اینشتین بسازند، در گذشته بیشتر بوده است. بنابراین با اندازه‌گیری شمار اختروش‌های دوتایی در دوره‌های مختلف سیر تکاملی جهان، می‌توان به‌طور تقریبی حجم کل جهان وسپس ثابت کیهانی را که به انبساط جهان کمک می‌کند، محاسبه کرد. در سال ۱۹۹۸، ستاره‌شناسان در مرکز اخترفیزیک هاروارد ـ اسمیت سونیَن، اولین برآورد تقریبی ثابت کیهانی را انجام داده و نتیجه گرفتند که احتمالاً این مقدار چیزی بیشتر از ۶۲ درصد کل محتوای ماده ـ انرژی جهان را تشکیل نمی‌دهد. (نتیجه واقعی ماهواره WMAP، ۷۳ درصد است.)

ماده تاریک در اتاق شما

ماده تاریک در جهان فراوان است، اما نه فقط در خلأ سرد فضا، بلکه در واقع باید در اتاق شما نیز وجود داشته باشد. هم‌اکنون چندین تیم تحقیقاتی در حال رقابت هستند تا ببینند چه کسی اولین ذره ماده تاریک را در آزمایشگاه شکار می‌کند. رقابت بسیار شدید است؛ تیمی که در آشکارسازهای خود موفق به ثبت یک ذره ماده تاریک شود، پس از دو هزارسال، برای اولین‌بار شکل جدیدی از ماده را آشکار کرده است.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

ایده اصلی اجرایی این آزمایش‌ها آن است که توده بزرگی از ماده خالص (مانند یُدید سدیم، اکسید آلومینیم، فریون، ژرمانیم یا سیلیسیم) داشته باشیم که در آن ذرات ماده تاریک می‌توانند برهمکنش کنند. به‌طور اتفاقی، یک ذره ماده تاریک می‌تواند به هسته یک اتم برخورد کرده و الگوی واپاشی ویژه‌ای پدید آورد. با عکس برداری از مسیر حرکت ذرات در این واپاشی، دانشمندان می‌توانند حضور ماده تاریک را تایید کنند.

آزمایش‌ها محتاطانه و خوش‌بینانه‌اند، چرا که حساسیت فوق‌العاده تجهیزات، بهترین فرصت برای مشاهده ماده تاریک را به‌دست می‌دهند. منظومه شمسی ما با سرعت ۲۲۰ کیلومتر بر ثانیه گرد سیاهچاله‌ای که در مرکز کهکشان راه شیری قرار دارد، می‌چرخد. به‌این‌ترتیب سیاره ما در حال عبور از میان مقدار قابل توجهی از ماده تاریک است. فیزیک دانان برآورد کرده‌اند که در هر ثانیه، یک میلیارد ذره جسم تاریک از هر متر مربع از منظومه ما، از جمله از درون بدن ما، می‌گذرد.

با اینکه در مسیر «باد ماده تاریک» زندگی می‌کنیم که به منظومه شمسی ما می‌وزد، آشکارسازی ماده تاریک در آزمایشگاه بسیار مشکل است، زیرا ماده تاریک با ماده معمولی برهمکنشی بسیار ضعیف دارند. به‌عنوان مثال، دانشمندان تنها انتظار یافتن سالانه ۰/۰۱ تا ۱۰ رویداد را در یک کیلوگرم ماده آزمایشگاهی دارند. به عبارت دیگر، باید مقادیر بزرگی از ماده را طی چندین سال تحت نظر بگیرید تا رویدادهایی شامل برخوردهای ماده تاریک را ببینید.

تا بحال، آزمایش‌های مانند UKDMC در انگلستان، ROSEBUD در اسپانیا، SIMPLE در راسترل فرانسه و Edelweiss در فریجوس فرانسه، هنوز چنین رویدادهایی را آشکار نکرده‌اند. در سال ۱۹۹۹ دانشمندان در آزمایشی تحت عنوان DAMA، در حومه رم، مشاهده ذرات ماده تاریک را با هیجانی وصف ناشدنی گزارش کردند. در DAMA از ۱۰۰ کیلوگرم یُدید سدیم استفاده می‌شود، از این رو، بزرگ‌ترین آشکارساز دنیاست. به هر حال، هنگامی که آشکارسازهای دیگر تلاش کردند نتایج DAMA را باز تولید کنند،

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

چیزی نیافتند که سبب تردید در یافته‌های DAMA شد.

فیزیکدانی به نام دیوید کلین می‌گوید: «اگر آشکارسازها نشانه‌ای را ثبت و تایید کنند، این بزرگ‌ترین دستاورد قرن بیست و یکم خواهد بود... بزرگ‌ترین راز در اخترفیزیک مدرن، به‌زودی فاش خواهد شد.»

اگر ماده تاریک به‌زودی پیدا شود، همانگونه که اغلب فیزیک دانان انتظار دارند، این امر اَبَرتقارن (و شاید بعداً نظریه ابر ریسمان) را بدون استفاده از اتم‌شکن‌ها تایید خواهد کرد.

ماده تاریک اَبَرمتقارن

نگاهی گذرا به ذرات پیش‌بینی شده توسط ابرتقارن نشان می‌دهد که نامزدهای مشابه متعددی از این نوع ذرات وجود دارند که می‌توانند ماهیت ماده تاریک را توضیح دهند. یکی از آن‌ها عبارت است از نوترالینو؛ خانواده‌ای از ذرات که شامل ابرهمتای فوتون است. از جنبه نظری، نوترالینو با داده‌های مربوط در این زمینه، سازگار است. از نظر الکتریکی، خنثی و بنابراین نامرئی است. جرم دارد (بنابراین فقط گرانش بر آن موثر است) و مهم‌تر اینکه پایدار است. (دلیلش آن است که کم‌ترین جرم را در خانواده‌اش دارد و بنابراین نمی‌تواند به هیچ سطح پایین‌تری واپاشی کند.) آخرین و شاید مهم‌ترین مطلب اینکه جهان باید مملو از نوترالینوها باشد که آن‌ها را به نامزدی ایده‌آل برای ماده تاریک تبدیل می‌کند.

نوترالینوها یک مزیت بزرگ دارند: آن‌ها ممکن است پرده از این راز بردارند که چرا ماده تاریک ۷۳ درصد محتوای ماده/انرژی جهان را تشکیل می‌دهند، درحالی‌که این مقدار برای هیدروژن و هلیم، مقداری ناچیز برابر با ۴ درصد است.

به خاطر آورید هنگامی که ۳۸۰,۰۰۰ سال از عمر جهان می‌گذشت، درجه حرارت کاهش یافت، طوریکه دیگر اتم‌ها بر اثر تصادم در گرمای شدید ناشی از انفجار بزرگ ازهم نمی‌پاشیدند. توپ آتشین رو به انبساط شروع کرد به سرد شدن، تراکم وتشکیل اتم‌های کامل و پایدار. فراوانی اتم‌ها

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

در زمان کنونی کاملاً به‌دلیل رخدادهای آن زمان است. پس فراوانی ماده در جهان به زمانی برمی‌گردد که جهان به اندازه کافی سرد شد تا ماده بتواند پایدار باشد.

همین استدلال را می‌توان برای محاسبه فراوانی نوترالینوها به کار برد. اندکی بعد از انفجار بزرگ، دما چنان به شدت بالا بود که حتی نوترالینوها نیز در برخوردها نابود می‌شدند. اما جهان سرد شد و در زمان خاصی، دما به قدر کافی کاهش یافت تا نوترالینوها بتوانند بی‌آنکه نابود شوند، شکل بگیرند. فراوانی نوترالینوها به آن دوران اولیه بر می‌گردد. با این روش محاسبه، درمی یابیم که فراوانی نوترالینوها خیلی بیشتر از اتم‌هاست و در حقیقت تقریباً با فراوانی واقعی ماده تاریک در زمان حال برابر است. بنابراین ذرات ابرمتقارن می‌توانند توضیح دهند که چرا سراسر جهان مملو از ماده تاریک است.

نقشه‌بردار آسمان اِسلون

گرچه در قرن بیست و یکم ابزارهای اندازه‌گیری ماهواره‌ای پیشرفت‌های چشمگیری خواهند داشت، اما این به معنی کنار گذاشتن تحقیقات به وسیله تلسکوپ‌های نوری و رادیویی زمینی نیست. در واقع انقلاب دیجیتالی شیوه کاربرد تلسکوپ‌های نوری و رادیویی را با ایجاد امکان بررسی‌های آماری میلیون‌ها کهکشان، تغییر داده است. در نتیجه این فناوری نو، فناوری تلسکوپ نیز ناگهان حیاتی دوباره یافته است.

ستاره‌شناسان همواره بر سر زمان محدود و کوتاه استفاده از بزرگ‌ترین تلسکوپ‌های جهان، جنگیده‌اند. آن‌ها با تنگ چشمی وقت گرانبهای‌شان از این ابزارها را غنیمت شمرده‌اند و سراسر شب، ساعت‌های متوالی را در اتاق‌های سرد و نمناک کنار این ابزارها به سختی سپری کرده‌اند. چنین شیوه قدیمی رصد بازدهی کمی داشت و اغلب عداوتی تلخ میان ستاره‌شناسان برمی‌انگیخت که احساس می‌کردند توسط مسئول تعیین وقت تلسکوپ، تحقیر شده‌اند. تمام این مشکلات با ورود اینترنت و محاسبات سریع در حال

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

دگرگونی است.

اکنون بسیاری تلسکوپ‌ها تمام خودکار هستند و می‌توانند از هزاران کیلومتر دورتر، توسط ستاره‌شناسانی در دیگر قاره‌ها، برنامه‌ریزی شوند. نتایج این نقشه‌برداری‌های گسترده ستارگان را می‌توان به صورت دیجیتال در اینترنت گذاشت و سپس به وسیله آبَررایانه‌های قدرتمند مورد تحلیل قرار داد. یک مثال برای نشان دادن برتری این شیوه دیجیتالی SETI@home است، پروژه‌ای برای تحلیل امواج دریافت شده از فضا در جستجوی نشانه‌های هوش فرازمینی که در دانشگاه کالیفرنیا در برکلی مستقر است. داده‌های انبوه به‌دست آمده از تلسکوپ رادیویی آرسیبو در پورتوریکو، به قطعات کوچک دیجیتال تقسیم شده و سپس از طریق اینترنت به رایانه‌های شخصی در سراسر جهان، به ویژه برای آماتورها، ارسال می‌گردد. یک نرم افزار، مشابه نرم‌افزارهای محافظ صفحه نمایش، وقتی از رایانه شخصی استفاده نمی‌شود، داده‌ها را در پی نشانه‌های هوش، تحلیل می‌کند. به این روش، گروه تحقیقاتی بزرگ‌ترین شبکه رایانه‌ای جهان را بنا نهاده که در حدود ۵ میلیون رایانه شخصی را در سراسر جهان به‌هم مرتبط می‌کند.

برجسته‌ترین مثال کاوش دیجیتال امروزی در جهان، نقشه‌بردار آسمان اسلون است که بلند پروازانه‌ترین نقشه‌برداری از آسمان ــ که تاکنون صورت گرفته ــ به شمار می‌رود. مانند نقشه‌بردار قبلی به نام پالومار که از صفحه‌های عکاسی استفاده می‌کرد و آن‌ها را به صورت انبوه ذخیره می‌کرد، نقشه‌بردار اسلون، نقشه‌ای دقیق از اجرام کیهانی آسمان شب، ایجاد خواهد کرد. نقشه‌برداری از کهکشان‌های دور در سه بعد و ۵ رنگ، در حال انجام است. حاصل نقشه‌بردار اسلون نقشه‌ای در مقیاس بزرگ از ساختار جهان است که چند صد برابر بزرگ‌تر از کارهای قبلی است. این نقشه جزئیات دقیق یک چهارم از کل آسمان را در بر دارد و موقعیت و درخشندگی ۱۰۰ میلیون جرم کیهانی را تعیین می‌کند.

در این نقشه، فاصله بیش از یک میلیون کهکشان و در حدود یکصد هزار اختروش تعیین خواهد شد. حجم کل اطلاعاتی که نقشه‌بردار تولید می‌کند،

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

۱۵ ترابایت (تریلیون بایت) است، برابر با کل اطلاعات ذخیره شده در کتابخانه کنگره.

قلب نقشه‌بردار اسلون یک تلسکوپ ۲/۵ متری واقع در نیومکزیکوی جنوبی است و مجهز به یکی از پیشرفته‌ترین دوربین‌هایی است که تاکنون تولید شده است. این دستگاه شامل ۳۰ حسگر نوری ظریف الکترونیکی به نام CCD[1] (قطعه جفت کننده بار) است که هریک ۱۲ سانتی‌متر مربع مساحت دارند و در خلأ قرار گرفته‌اند. هر حسگر با استفاده از نیتروژن مایع تا دمای منفی ۸۰ درجه سانتیگراد سرد می‌شود و شامل ۴ میلیون جزء تصویری (پیکسل) است. بنابراین تمام نوری که تلسکوپ جمع‌آوری می‌کند، فوراً با استفاده از CCDها دیجیتال شده، سپس برای پردازش وارد رایانه می‌گردد. نقشه‌بردار، تصویری بسیار عالی از جهان را با هزینه کم‌تر از ۲۰ میلیون دلار ارائه می‌دهد که یک صدم هزینه تلسکوپ فضایی هابل است.

نقشه‌بردار سپس برخی از این داده‌های دیجیتالی را در اینترنت قرار می‌دهد که ستاره‌شناسان تمام دنیا به آن دسترسی دارند. به‌این‌ترتیب می‌توانیم از توان ذهنی دانشمندان دنیا استفاده کنیم. در گذشته اغلب دانشمندان جهان سوم از دسترسی به آخرین داده‌های تلسکوپی و جدیدترین مجلات محروم بودند. این امر سبب اتلاف وحشتناک استعدادهای علمی می‌شد. امروزه با استفاده از اینترنت، دانشمندان قادرند داده‌های حاصل از نقشه‌بردارهای آسمان را به‌دست آورند، مقالات را هم‌زمان با انتشار در اینترنت مطالعه کنند و مقالات را با سرعت نور در وِب منتشر کنند.

نقشه‌بردار اسلون راهبرد ستاره‌شناسی را با نتایج جدید بر پایه تحلیل صدها هزار کهکشان، تغییر می‌دهد که تا همین چند سال پیش ناممکن بود. به‌عنوان مثال در بهار سال ۲۰۰۳، گروهی از دانشمندان اسپانیایی، آلمانی و آمریکایی، اعلام کردند که ۲۵۰,۰۰۰ کهکشان را به منظور یافتن شواهد ماده تاریک، مورد بررسی قرار داده‌اند. از میان این تعداد زیاد، آن‌ها بر ۳۰۰۰ کهکشان و خوشه‌های ستاره‌ای، که در اطراف آن‌ها در گردش بودند، تمرکز

1. Charge-Coupled Device

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

کردند. با اعمال قوانین حرکت نیوتون بر گردش این خوشه‌ها، آن‌ها مقدار ماده تاریکی را که باید کهکشان مرکزی را احاطه کند، محاسبه کردند. در واقع این دانشمندان، نظریه رقیب را رد کرده‌اند. (این نظریه جایگزین که اولین‌بار در سال ۱۹۸۳ مطرح شد، سعی داشت مدار غیرعادی ستارگان در کهکشان‌ها را، با اصلاح خود قوانین نیوتون، توضیح دهد. شاید ماده تاریک در واقع اصلاً وجود نداشت و علت، وجود خطا در قوانین نیوتون بود. داده‌های نقشه‌بردار، این نظریه را دستخوش تردید کرد.)

در جولای ۲۰۰۳، گروه دیگری از دانشمندان آلمانی و آمریکایی، اعلام کردند که ۱۲۰,۰۰۰ کهکشان نزدیک را با استفاده از نقشه‌بردار اسلون، برای تشخیص رابطه میان کهکشان‌ها و سیاهچاله‌های درون آن‌ها مورد بررسی قرار داده‌اند. پرسشی که مطرح می‌شود این است : کدام یک اول شکل گرفت؟ سیاهچاله یا کهکشانی که آن را در خود جای داده است؟ نتیجه این تحقیقات نشان می‌دهد که شکل‌گیری کهکشان‌ها و سیاهچاله‌ها شدیداً به یکدیگر وابسته‌اند و احتمالاً هم‌زمان به‌وجود می‌آیند. بررسی نشان داد از ۱۲۰,۰۰۰ کهکشانی که در نقشه‌بردار مورد تحلیل قرار گرفتند، دست کم ۲۰,۰۰۰ کهکشان، سیاهچاله‌هایی دارند که هم‌چنان رو به رشد هستند (برخلاف سیاهچاله کهکشان راه شیری که غیرفعال به‌نظر می‌رسد). نتایج نشان می‌دهند که کهکشان‌های دارای سیاهچاله‌های رو به رشد، خیلی از کهکشان راه شیری بزرگ‌تر هستند و سیاهچاله‌های آن‌ها، با جذب گاز نسبتاً خنک از کهکشان، رشد می‌کنند.

جبران تغییرات دمایی

راه دیگری که سبب احیای تلسکوپ‌های نوری شده است، جبران انحرافات جوی با استفاده از لیزر است. علت چشمک زدن ستارگان، لرزیدن آن‌ها نیست، بلکه ستارگان عمدتاً به‌دلیل نوسانات جزئی دما در جو، چشمک می‌زنند. بدین معنی که در فضای خارج از جو زمین، در فاصله دور از جو، ستارگان به‌طور مداوم در چشم فضانوردان می‌درخشند. گرچه این چشمک

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

زدن، به آسمان شب زیبایی فراوان می‌بخشد، اما برای یک ستاره‌شناس، این یک کابوس است که نتیجه‌اش، عدم وضوح در تصاویر تهیه شده از اجرام آسمانی است. (به خاطر دارم در کودکی، هنگام نگاه کردن به تصاویر تیره مریخ، آرزو می‌کردم راهی برای گرفتن تصاویر واضح از سیاره سرخ وجود داشته باشد. فکر می‌کنم اگر فقط اختلالات جوی از طریق تصحیح پرتوهای نور، حذف شوند، پرده از راز حیات غیر زمینی، برداشته خواهد شد.)

یک راه برای جبران این عدم وضوح، استفاده از لیزر و رایانه‌های پرسرعت برای کاستن از اغتشاشات است. این روش از «اپتیک سازگار» استفاده می‌کند که پیشگام آن یکی از همکلاسی‌های من به نام کلِیر مَکس از آزمایشگاه ملی لارِنس لیوِر مور هاروارد و عده‌ای دیگر بودند که از تلسکوپ غول‌پیکر کک در هاوایی (بزرگ‌ترین تلسکوپ دنیا) و همچنین تلسکوپ کوچک‌تر ۳ متری شین در رصدخانه لیک کالیفرنیا، استفاده می‌کردند. برای مثال، با ارسال یک باریکه لیزر به سوی آسمان، می‌توان نوسانات اندک دمای هوا را در جو اندازه‌گیری کرد. این اطلاعات توسط رایانه تحلیل می‌شود و بر مبنای آن، تنظیمات ظریفی در آینه تلسکوپ اعمال می‌شود که اعوجاج نور ستارگان را خنثی می‌کند. به‌این‌ترتیب می‌توان اغتشاشات جوی را تقریباً از بین برد.

این شیوه در سال ۱۹۹۶ با موفقیت آزمایش شد و از آن به بعد تصاویر کاملا واضحی از سیارات، ستارگان و کهکشان‌ها ارائه گردید. سیستم، یک پرتو لیزر رنگی با توان قابل تنظیم ۱۸ وات، به آسمان می‌فرستد. لیزر به یک تلسکوپ ۳ متری متصل است که آینه‌های قابل انعطافش برای جبران اغتشاشات جوی تنظیم شوند. تصویر توسط یک دوربین CCD گرفته شده و دیجیتال می‌شود. این سیستم با صرف هزینه‌ای نسبتا اندک، تصاویری می‌گیرد که تا حد زیادی با تصاویر تلسکوپ فضایی هابل قابل قیاسند. نگریستن به جزئیات ظریف سیارات و حتی مشاهده دقیق قلب یک اختروش به وسیله این روش که زندگی تازه‌ای به تلسکوپ‌های نوری بخشیده، امکان‌پذیر است.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

به علاوه، این شیوه قدرت تفکیک تلسکوپ کک را ۱۰ برابر افزایش داده است. رصدخانه کک، واقع در قله آتشفشان خاموش ماناکیا در هاوایی که در ارتفاع تقریبی ۴۵۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد، دارای دو تلسکوپ همسان هریک با وزن ۲۷۰ تن می‌باشد. هر آینه که ده متر قطر دارد، متشکل از ۳۶ قطعه شش ضلعی است که هرکدام به‌طور جداگانه توسط رایانه کنترل می‌شوند. در سال ۱۹۹۹، یک سیستم اپتیک سازگار روی تلسکوپ‌های کک II نصب شد که شامل یک آینه کوچک و قابل انعطاف، با قابلیت ۶۷۰ بار تغییر شکل در هر ثانیه است. این سیستم از ستارگان در حال چرخش در اطراف سیاهچاله کهکشان راه شیری تصویربرداری کرده است، همچنین از سطح سیاره نپتون و قمر تیتان (ماه زحل)، و حتی سیاره‌ای برون خورشیدی که از مقابل ستاره مادر در فاصله ۱۵۳ سال نوری از زمین عبور می‌کند. نور ستاره HD209458 هنگامی که سیاره از مقابل آن می‌گذرد، درست مطابق پیش‌بینی‌ها کاهش می‌یابد.

آرایه تلسکوپ‌های رادیویی

تلسکوپ‌های رادیویی نیز با انقلاب رایانه‌ای احیا شده‌اند. در گذشته، تلسکوپ‌های رادیویی به خاطر اندازه بشقاب‌شان دچار محدودیت بودند. هرچه قطر آنتن بشقابی بزرگ‌تر بود، علائم رادیویی بیشتری از فضا گرفته و بررسی می‌شدند. اما آنتن بشقابی بزرگ‌تر، گران‌تر هم بود. یک راه برای غلبه بر این مشکل کنار هم گذاشتن چند بشقاب به صورت یک آرایه، به منظور شبیه‌سازی یک آبرتلسکوپ رادیویی در قابلیت جمع‌آوری علائم رادیویی است. (بزرگ‌ترین تلسکوپ رادیویی با این روش، به اندازه خود زمین است.) تلاش‌های قبلی در جهت آرایه‌سازی تلسکوپ‌های رادیویی در آلمان، ایتالیا و آمریکا، تا حدی موفقیت‌آمیز بوده است.

یک مشکل این روش آن است که علائم دریافتی از یکایک تلسکوپ‌های رادیویی، باید با دقت با هم ترکیب شده، وارد یک رایانه شوند. در گذشته، این امر بسیار مشکل و پرهزینه بود. اما با ظهور اینترنت و رایانه‌های پرسرعت ارزان‌قیمت،

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly